

LILLY REICH CZ. 2 – PRÓBA ODTWORZENIA PROGRAMU NAUCZANIA PROJEKTOWANIA WNĘTRZ W BAUHAUSIE (1932–1933) NA PODSTAWIE GŁÓWNYCH CECH TWÓRCZOŚCI LILLY REICH

Małgorzata Bartnicka

Politechnika Białostocka, Wydział Architektury, ul. Oskara Sosnowskiego 11, 15-893 Białystok
E-mail: m.bartnicka@pb.edu.pl, ORCID: 0000-0002-0304-9366

DOI: 10.24427/aea-2020-vol12-no4-01

LILLY REICH PART 2: A SHORT STUDY OF SELECTED PROJECTS BY LILLY REICH INCLUDED IN THE STUDY PROGRAM OF INTERIOR DESIGN COURSE IN BAUHAUS (1932–1933)

Abstract

The article is the second and the follow up part of the publication about Lilly Reich, a recognised interior and spatial designer. Lilly was a versatile and exceptionally gifted designer who worked across various design disciplines: fashion, product design, exhibition design and interior design. At the age of 27, she became a member of Werkbund and eight years later as the first woman in history, became a member of its board. At the height of her fame, she received an offer from Mies van der Rohe, her long-time collaborator, to teach with him at the Bauhaus school. Lilly became the head of weaving workshops and interior design studio. The article attempts to outline the most characteristic features of her work which also show the overall design direction of the school in the months preceding its closure. In the analysis the following changes and characteristics were found: introduction of new exhibition design methodology; emphasis on the use of precious and natural materials, especially with regards to displaying their surfaces; simplicity and economics of furniture; emphasis on the use of high-end finishes; non-standard use of fabrics in interiors; use of various transparent and translucent materials in order to enhance the perception of space; and the idea of integrating an interior and exterior to achieve a further effect of spaciousness.

Streszczenie

Artykuł jest drugą częścią publikacji dotyczącej działalności projektowej designerki i projektantki wnętrz Lilly Reich. Była ona wszechstronnie uzdolniona, zajmowała się modą, wzornictwem, projektowaniem wystaw oraz wnętrz. W wieku 27 lat stała się członkinią Werkbundu, osiem lat później jako pierwsza kobieta w historii została członkiem jego zarządu. U szczytu sławy i możliwości twórczych od swojego wieloletniego współpracownika Ludwiga Miesa van der Rohego otrzymała propozycję nauczania wraz z nim w szkole Bauhaus. Powierzono jej kierowanie warsztatami tkackimi oraz pracownią projektowania wnętrz. Podjęta w artykule próba uchwycenia najbardziej charakterystycznych cech jej twórczości daje możliwość określenia kierunku, w jakim poprowadziła nauczanie w ostatnich kilkunastu miesiącach istnienia tej szkoły. W procesie analizy wyszczególniono następujące cechy jej działalności: ustanowienie nowej metodologii projektowania wystaw, wykorzystywanie szlachetnych materiałów naturalnych, eksponowanie ich atrakcyjnej powierzchni, prostota i ekonomika mebli oraz ich szlachetne wykończenie, stosowanie niestandardowych tkanin we wnętrzach, wykorzystywanie różnego stopnia przenikania światła i przejrzystości materiałów, a także wywoływanie wrażenia przestrzenności i przestronności wnętrz połączone z ideą integracji wnętrza i zewnątrz.

Keywords: natural materials; space intersections; fabrics in interiors; exhibition design; Bauhaus; Lilly Reich

Słowa kluczowe: materiały naturalne; przenikanie przestrzeni; tkanina we wnętrzach; projektowanie wystaw; Bauhaus; Lilly Reich

WPROWADZENIE

Lilly Reich rozwinęła własną działalność projektową na przełomie 1911/1912 roku. Jej osobowość twórcza ukształtowana została głównie przez nauczycieli Die Höhere Fachschule für Dekorationskunst w Berlinie (*Wyższej Szkoły Technicznej Sztuk Dekoracyjnych*), do której Lilly uczęszczała od 1910 roku. W skład grona pedagogicznego wchodził m.in. Hermann Muthesius, Peter Behrens i Richard L.F. Schulz. Jej najważniejszym nauczycielem była Else Oppler-Legband¹, która pod koniec XIX wieku studiowała w Berlinie u założyciela niemieckiego Werkbundu, Henry'ego van de Veldego, oraz Petera Behrensa². Gdyby nie to spotkanie, być może Reich pozostałaby w obszarze działalności obyczajowo przypisywanej kobietom. To właśnie Oppler uświadomiła jej szeroką gamę działań artystycznych otwierających się przed kobietami, poczynając od haftu, mody, aranżacji witryn wystawienniczych poprzez dekoracje, na projektowaniu wnętrz kończąc. Szerokie doświadczenie zawodowe Oppler oraz jej znajomości w branży zapewniły Reich start w profesji projektanta. Duże znaczenie w życiu i działalności projektowej Lilly miała wystawa *Die Frau in Haus und Beruf* (Kobieta w domu i w pracy) zorganizowana w dniach 24 lutego – 24 marca 1912 roku w Berlinie. Nowością w sposobie wystawiania było połączenie dwóch technik wystawienniczych – tych ze sklepów towarowych oraz z targów przemysłowych [D. Stratigakos 2008, s. 107]. Wystawa została przygotowana przez kobiety-projektantki dla kobiet. Do tego grona Oppler zaprosiła także Reich, która w ten sposób mogła czerpać z doświadczeń profesjonalnych projektantek będących pionierkami w dziedzinie twórczości projektowej. W ramach tej wystawy Lilly, na zlecenie berlińskich związków zawodowych (Gewerkschaftshaus), zaprojektowała wzorcowe mieszkanie robotnicze, którym oczarowała jury klarownością i komfortem rozwiązań. Ekspozycje z 1913 roku były pierwszymi zwiastunami jej nowoczesnego podejścia do sztuki wystawienniczej, tworzone

były w odmiennym duchu niż dotychczasowe propozycje innych projektantów.

Lilly Reich w momencie, gdy poznała Ludwiga Miesa van der Rohego (ok. 1925), była już od ponad dekady powszechnie znaną projektantką, uznaną prekursorką współczesnego designu, jedną z najbardziej cenionych specjalistek z zakresu wystawiennictwa w Niemczech oraz jedyną członkinią zarządu niemieckiego Werkbundu.

Wspólna praca Lilly i Ludwiga rozpoczęła się w 1927 roku. Lilly nigdy nie pracowała „dla” van der Rohego – ich współpraca miała charakter partnerski, a Reich przez cały czas ich znajomości miała swoją własną firmę. Dzieła swe sygnowali „LR” i „MR”. Okres ich najznamienitszych dokonań skończył się wraz z nastaniem III Rzeszy. Zanim zniszczone zostało wszystko, co nowoczesne, Lilly zaproszona została przez Miesa do współpracy w nauczaniu w szkole Bauhausu. We wrześniu 1930 roku został on trzecim, a jak się niebawem okazało, ostatnim dyrektorem tej placówki.

Artykuł jest drugą częścią publikacji dotyczącej działalności projektowej Lilly Reich. Celem artykułu było wyszukanie najbardziej charakterystycznych cech jej twórczości. Na podstawie analizy jej dorobku można spróbować odtworzyć credo artystyczne projektantki. Jej znaczący wpływ na nowoczesny sposób projektowania wystaw i wnętrz stał się także znamiennym wkładem w proces nauczania w Bauhausie w ostatnich latach jego istnienia, gdzie mogła ona przekazać uczniom swoje wartości i przekonania. Praca przygotowana została na podstawie przeglądu literatury, a także krytycznej analizy dorobku Reich udokumentowanego w czasopiśmie z lat 20. i 30.

1. LILLY REICH W BAUHAUSIE 1932–1933

Mies van der Rohe nie tylko doceniał pracę Lilly Reich, lecz także jednocześnie uważał ją za niezastąpioną w działaniach będących jej domeną, zarówno

¹ Else Oppler-Legband. Urodzona 21 lutego 1875 roku w Norymberdze. W 1902 r. Została dyrektorką Wydziału Sztuk Użytkowych w Norymberskim Stowarzyszeniu na rzecz Awansu Kobiet. W indeksie założycieli niemieckiego Werkbund (Verzeichnis der Grunder des deutschen Werkbunds, Werkbund-Archiv Berlin) Oppler jest wymieniana jako współzałożycielka Werkbundu. W roku 1910 roku pełniła funkcję dyrektora *Die höhere Fachschule für Dekorationskunst*. Następnie w tym samym roku założyła komitet ds. sztuki włókienniczej i mody w Lidze Niemieckiej Sztuki Stosowanej w Berlinie. W 1912 roku opuściła Berlin i przeniosła się do Freiburga. Była członkiem komitetu wykonawczego wystawy *Die Frau in Haus und Beruf* (Woman at Home and at Work) w 1912 roku. Była również członkiem komitetu wykonawczego dla *Haus des Frau* (House of Woman) w Kolonii w 1914 roku. Od 1920 r. publikowała krótkie eseje na temat projektowania witryn wystawienniczych w czasopiśmie *Der Konfektionär*. Brała udział w wystawie *Moda Damska* w Berlinie w 1927 roku a także w niemieckiej wystawie budowlanej 1930 roku w Berlinie. Zmarła 7 grudnia 1965 w Überlingen nad Jeziorem Bodeńskim [D. Stratigakos, *A Women's Berlin: Building the Modern City*, The University of Minnesota, Minneapolis, 2008, pass].

² Oppler nie studiowała u nich wbrew pozorom architektury, obaj sławni architekci zajmowali się na przełomie XIX i XX wieku projektowaniem damskiej garderoby i projektowaniem wnętrz i to właśnie tych profesji dotyczył wspomniany staż. Vide np.: D. Raizman, C. Gorman, *Objects, Audiences, and Literatures: Alternative Narratives in the History of Design*, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle 2007, ss. 60–65.

³ Gunta Sharon-Stölzl opuściła Bauhaus 01.10.1931. Wraz z jej odejściem warsztat stracił długoletniego menadżera, któremu zawdzięcza zdecydowany rozwój i sukces. „die entwicklung der bauhausweberei von gunta sharon-stölzl” Bauhaus 2 (juli 1931), Zeitschrift für Gestaltung, Bauhaus Dessau.

w jej działalności prywatnej, jak i w projektach, które wspólnie tworzyli. W styczniu 1932 roku zaprosił ją do pracy w Bauhausie. Lilly, która mniej więcej w tym samym czasie miała propozycję objęcia stanowiska dyrektora Instytutu Mody w Monachium [M. Droste 1996, s. 55], zdecydowała się poprowadzić Bauhaus razem z nim, choć przez znaczną część osób traktowana była nie jako znakomita projektantka, ale „kobieta Miesa van der Rohego”. Mies i Lilly mieszkali w Dessau w jednym z domków profesorskich jedynie przez trzy dni w tygodniu, pozostali czas spędzali w Berlinie.

Szkoła w Dessau była w trudnym położeniu. Po rezygnacji Waltera Gropiusa jej dyrektorem został szwajcarski architekt Hannes Meyer (1928–1930), który uważał, że szkoła powinna zostać ukierunkowana na projektowanie architektury. Ponadto sprzeciwił się dotychczasowej przewadze szeroko rozumianej działalności artystycznej, a jako motto swoich przekonań ogłosił, że najistotniejsze są *potrzeby ludzi, a nie potrzeby luksusowe* (*Volksbedarf statt Luxusbedarf*). Zreorganizował uczelnię, oddzielił nauki o sztuce, wprowadził przedmioty techniczne, a warsztaty ukierunkowane zostały na współpracę z przemysłem, tak aby ich wyroby miały charakter seryjny, a nie unikatowych egzemplarzy. Działania te doprowadziły do konfliktu z nauczycielami/mistrzami z zakresu nauczania artystycznego. Ostatecznie Meyer został zwolniony z pełnionego stanowiska ze względów politycznych, jako osoba powiązana z ruchem marksistowskim oraz za sprzyjanie lewicującym grupom studentów. Mies van der Rohe miał zaś swoim autorytetem i sławą „gwiazdy” niemieckiej awangardy utrzymać pozycję i byt szkoły. Pod presją jej zamknięcia ograniczył program nauczania właściwie do architektury, wszystkie inne przedmioty miały mieć charakter wspomagający ten kierunek. Zrezygowano z prac eksperymentalnych, zlikwidowano kurs wstępny, połączono warsztaty mebli, metaloplastyki i malowania ścian, zespólnono też dział tkanin z projektowaniem tapet.

Lilly Reich stanęła na czele pracowni tkaniny oraz warsztatów projektowania wnętrz. W pracowni tkackiej zajęła miejsce Gunta Stölzl, która zrezygnowała z pracy na jesieni 1931 roku³. Van der Rohe już dużo wcześniej widział Reich na tym miejscu i nie ukrywał tego. Jeszcze w 1930 roku Oskar Schlemmer przekomarzał się ze Stölzl, mówiąc „Deine Reich komme”⁴. Pracownię projektowania wnętrz wraz z warsztatami meblarskim i metalowym do końca 1931 roku prowadził Alfred

Arndt, a w styczniu 1932 roku przekazał je Lilly. Ostatecznie jej wejście do Bauhausu nie było łatwe. Gunta Stölzl rekomendowała na swoje miejsce wyróżniającą się studentkę Bauhausu Otti Berger, jednakże decyzją van der Rohego została ona jedynie zastępczynią Lilly. Reich była uzdolnioną projektantką, znającą się na tkaninach oraz ich użyciu w przestrzeni, nie potrafiła natomiast tkąć. Na tym polu w pracowni doszło do konfliktów, w których uczestniczyli także ówcześni studenci Bauhausu stojący po stronie Berger. Ostatecznie opuściła ona warsztat pod koniec 1932 roku i założyła własną firmę. Do końca istnienia Bauhausu trwał spór między nią a szkołą o odszkodowanie za stworzone prototypy i prawa patentowe [E. Otto, P. Rössler 2019, s. 100]. Bauhaus w Dessau przetrwał do 30 września 1932 roku, kiedy to został zamknięty przez Radę Miasta, w której większość zdobyli narodowi socjaliści. Van der Rohe „przeniósł” go, już jako prywatną szkołę, do Berlina i umieścił w starej opuszczonej fabryce telefonów w Steglitz.

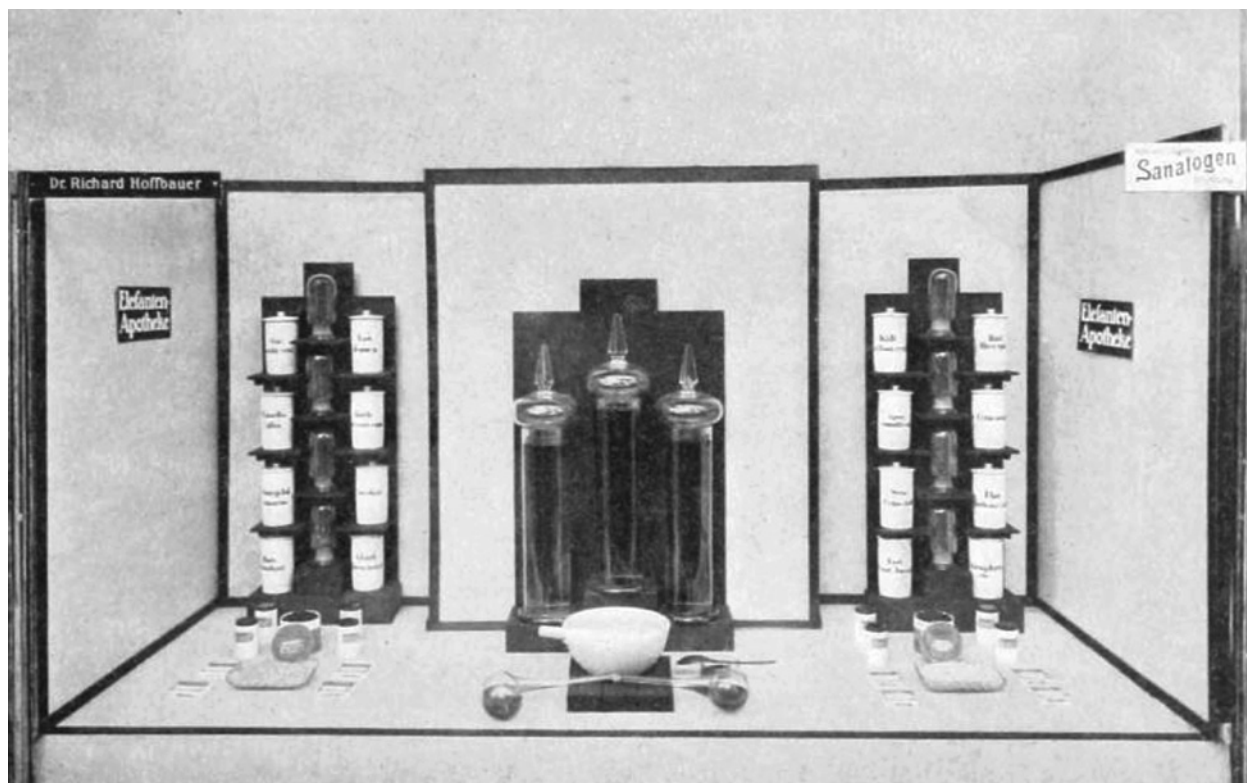
Lilly była jedną z niewielu ówczesnych kobiet, które uzyskiwały pozycję profesora w szkole artystycznej. W teoretycznie nowoczesnej szkole, jaką był Bauhaus, dopiero jako druga kobieta otrzymała tytuł mistrza – profesora (do 1926 roku używano określenia *Formmeister*)⁵. Jako niezwykle silna, pewna siebie kobieta odnalazła się w tej trudnej rzeczywistości i nie przejmując się przeciwnościami, jakie ją spotykały, rozpoczęła autorski kurs nauczania mający charakter kombinacji ćwiczeń z uwzględnieniem *materiału, tkaniny i koloru* [M. Droste 1990, s. 224]. Program tego kursu oparty był na jej prywatnych bogatych doświadczeniach zawodowych w kształtowaniu nowoczesnych przestrzeni wnętrzarskich, odważnych w kolorach, gdzie pozornie surowe wnętrza odznaczały się wysublimowaną elegancją, którą kreowały zarówno autorskie meble, jak i zastosowane materiały wykończeniowe.

2. CECHY TWÓRCZOŚCI LILLY REICH

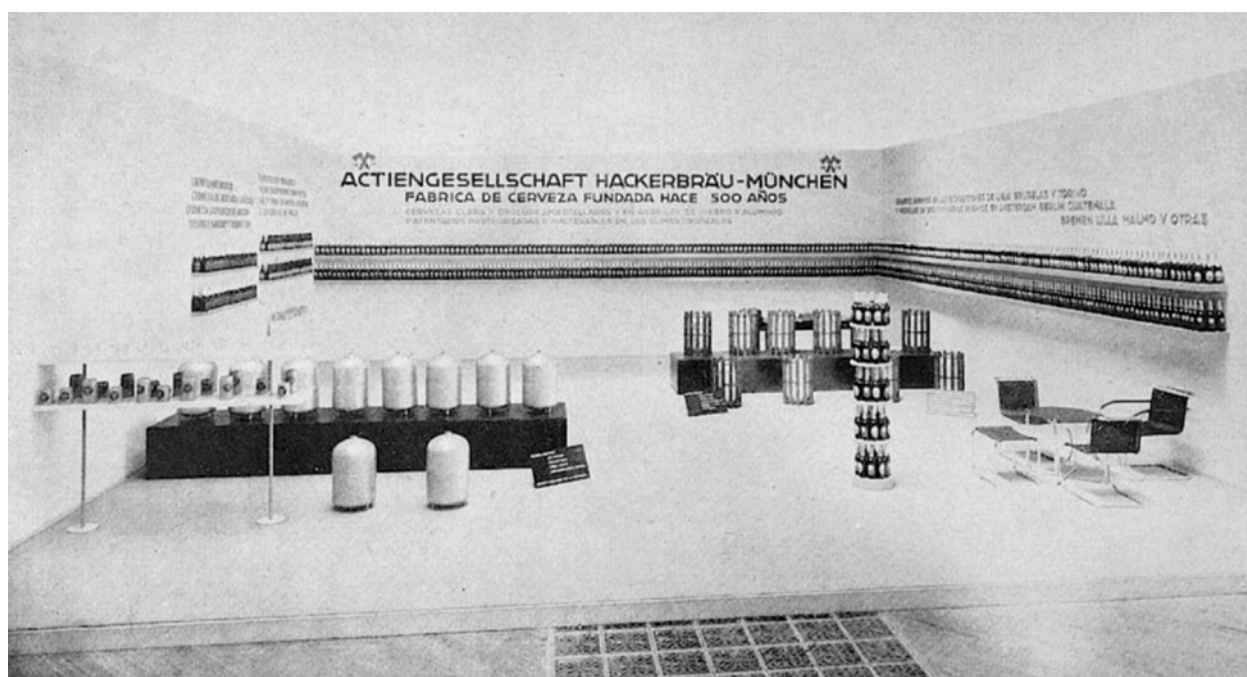
Działalność projektowa Lilly Reich wpisywała się w nurt nowoczesnego designu lat 20. i 30. Rozwijający się wówczas modernizm odrzucał historycyzm, dekoracyjność. Pojawiło się pojęcie funkcjonalności opartej na zasadach logiki, zarówno w przestrzeni, jak i sprzętach. Kreowane w tych czasach wnętrza charakteryzują się:

³ Aluzja do nazwiska Lilly, „Reich”, które w języku niemieckim oznacza: rzesza, imperium, królestwo. Zdanie użyte przez Schlemmera w dosłownym tłumaczeniu oznacza: „przyjdź (przyjdzie) królestwo twoje”.

⁵ Pierwszą była Gertrud Grunow, muzyk nauczająca teorii harmonii, pracująca w Bauhausie w latach 1923-24. Gunta Stölzl uzyskała w trakcie pracy funkcję Jungmeister (młodszego mistrza). Vide np.: Michael Siebenbrodt, Lutz Schöbe, Bauhaus 1919-1933 Weimar-Dessau-Berlin. Parkstone International, New York, 2012.



Ryc. 1. Witryna Elefanten-Apotheke; źródło: „Jahrbuch” des Deutschen Werkbundes, 1913, s. 103
Fig. 1. The Elefanten-Apotheke window site; source: „Jahrbuch” des Deutschen Werkbundes, 1913, p. 103

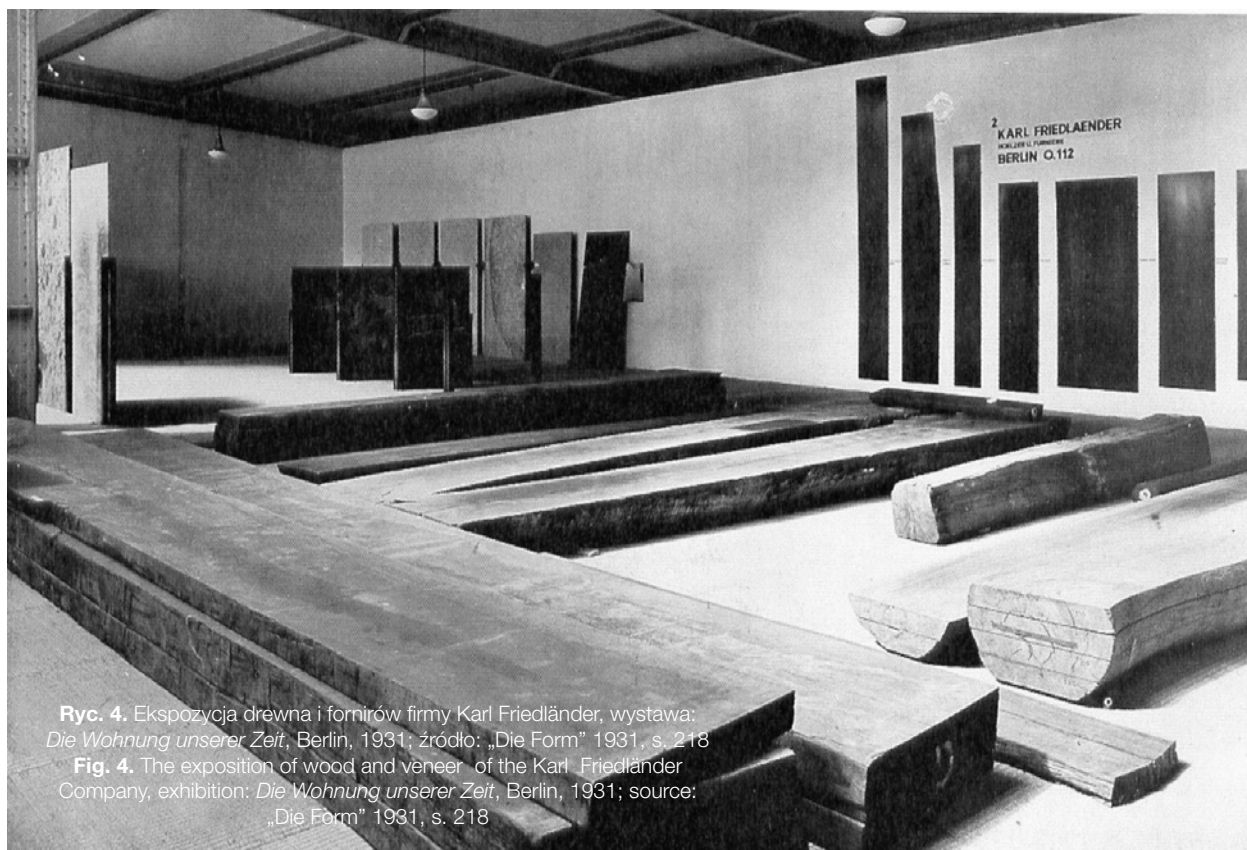


Ryc. 2. Instalacja prezentująca piwo Hackerbrau, jedna z ekspozycji na wystawie światowej w Barcelonie, 1929, źródło: „Die Form” 1929, s. 430
Fig. 2. The Hackerbrau beer presentation system, the World Exhibition in Barcelona, 1929; source: „Die Form” 1929, s. 430



Ryc. 3. Ekspozycja zegarków stojących, nabiurkowych, wystawa: *Die Wohnung unserer Zeit*, Berlin, 1931; źródło: „Die Form” 1931, s. 219

Fig. 3. The stationary clocks' exposition, exhibition: *Die Wohnung unserer Zeit*, Berlin, 1931; source: „Die Form” 1931, s. 219



Ryc. 4. Ekspozycja drewna i fornirów firmy Karl Friedländer, wystawa: *Die Wohnung unserer Zeit*, Berlin, 1931; źródło: „Die Form” 1931, s. 218

Fig. 4. The exposition of wood and veneer of the Karl Friedländer Company, exhibition: *Die Wohnung unserer Zeit*, Berlin, 1931; source: „Die Form” 1931, s. 218



Ryc. 5. Wykorzystanie czarnego szkła w bufecie w willi Tugendhatów, po prawej ściana z onyksu; źródło: *Obnova vily Tugendhat*, <http://www.bydleni-iq.cz/temata/architektura/obnova-vily-tugendhat/>

Fig. 5. The application of the black glass in buffet of the Tugendhat House, on the right: the wall of onyx; source: *Obnova vily Tugendhat*, <http://www.bydleni-iq.cz/temata/architektura/obnova-vily-tugendhat/>

- eliminacją ścian konstrukcyjnych w obrębie mieszkania;
- logiczną aranżacją przestrzeni, w której poszczególne jej fragmenty pełnią określoną funkcję;
- zaniechaniem stosowania elementów zdobniczych;
- stosowaniem prostych geometrycznych brył.

Na tym tle Lilly Reich odznaczała się talentem w tworzeniu wnętrz użytecznych, ale jednocześnie ekskluzywnych, których elegancja podkreślana była rodzajem i jakością stosowanych materiałów wykończeniowych przy jednoczesnej olbrzymiej wrażliwości na światło, barwę i fakturę. W zakres projektowy wchodziły nie tylko meble, ekspozycje wystawiennicze czy organizacja cyklu wystaw, lecz także projektowanie wnętrz. W jej twórczości można wyróżnić następujące charakterystyczne cechy:

- Nowe podejście do projektowania wystaw, wręcz **ustanowienie współczesnej metodologii projektowania wystaw**, gdzie obiektem wystawowym jest nie tylko eksponowany produkt. Lilly włączała w strefę pokazu również surowiec, proces jego powstawania oraz technologię wytwarzania, często łącznie z narzędziami czy maszynami służącymi do jego obróbki. Wprowadziła projektowanie wystaw sklepowych oraz prze-

strzeni wystawienniczych w strefę nowoczesnego designu, w obszar sztuki. Można to było zauważyć już w 1912 roku przy witrynie wystawienniczej apteki Elefanten-Apotheke (ryc. 1), a także w serii wystaw realizowanych w ramach Targów Frankfurckich (np. w czasie wystawy *Von der Faser zum Gewebe*, 1926) czy w późniejszym okresie w trakcie wystawy światowej w Barcelonie w 1929 roku (ryc. 2). Lilly zyskała sławę eksperta w dziedzinie wystawiennictwa, a w szczególności produktów trudnych do wyeksponowania, jak np. wystawa zegarów (ryc. 3) czy drewna i fornirów (ryc. 4), zademonstrowane na ekspozycji *Die Wohnung unserer Zeit* w Berlinie w 1931 roku.

- **Wykorzystywanie szlachetnych materiałów naturalnych.** Lilly Reich wykorzystywała w swych projektach przede wszystkim szkło, kamień, drewno, forniry, tkaniny, ale także linoleum (uważane wówczas za niezwykle użytkową i szybką nowość). Każdy z tych materiałów stosowała w jego najszlachetniejszej odmianie. Używała szkła o różnym stopniu przezroczystości, od całkowicie przezroczystych poprzez półmat, mat do tafli mlecznych (Glasraum, Stuttgart, 1927). Innym rozwiązaniem było zastosowanie



Ryc. 6. Meble wykończone farniem drewna różanego, pokój Grete Tugendhat; źródło: <https://www.thewoodhouseny.com/journal/2018/2/21/villa-tugendhat>

Fig. 6. Furniture finished with rose wood verneer, Grete Tugendhat room; source: <https://www.thewoodhouseny.com/journal/2018/2/21/villa-tugendhat>



Ryc. 7. Meble wykończone farniem drewna zebra w pokoju Hanny, willa Tugendhatów; źródło: *Obnova vily Tugendhat*, <http://www.bydleni-iq.cz/temata/architektura/obnova-vily-tugendhat>

Fig. 7. Furniture finished with zebra wood verneer, Hana's room, Tugendhat House; source: *Obnova vily Tugendhat*, <http://www.bydleni-iq.cz/temata/architektura/obnova-vily-tugendhat/>



Ryc. 8. Stolik ogrodowy z 1931 roku, krzesło LR 120;
źródło: www.moma.org

Fig. 8. Garden table of 1931, chair LR 120; source:
www.moma.org

szkieł przyciemnianych i barwnych – białych, zielonych, szarych, tzw. *mausgraues Glas*, i czarnych (ryc. 5). W działaniach Reich kamień był stałym elementem okładziny ścian, a jednocześnie stosowany był jako efektowna przegroda w przestrzeni. Na ścianach montowano m.in. rzymski trawertyn czy zielone marmury pochodzące z Alp. Ponadto wykorzystywała ona cienkie płyty polerowanego onyksu (z gór Atlas) – kremowego, miodowo-żółtego lub pomarańczowego poprzecinanego różowymi i szarymi żyłkami (willa Tugendhatów, Brno, 1929, ryc. 5).

Twarde materiały uzupełniane były miękkimi pluszami, ręcznie tkanymi dywanami, jedwabiem (prawdziwym i sztucznym).

Kolejnym materiałem było luksusowe drewno stosowane często w postaci długich desek. Można tu wymienić drewno hebanowe Macassar (półokrągła ścianka i stół w salonie willi Tugendhatów – dalej WT), palisander (drzwi wejściowe do WT) czy drewno czarnej gruszy (stół w jadalni WT). Większość powierzchni drewnianych okładzin ścian, wbudowanych szaf i skrzyń łóżek wykończona była fornirami szlachetnych gatunków drzew. Na ścianach w strefie holu wejściowego domu Tugendhatów znajdowała się niezwykle wzorzysta okładzina z forniru drzewa różanego, drewna tak kosztownego, że nawet w dzisiejszych czasach stosowanego wyłącznie do ekskluzywnych mebli. Takie samo wyjątkowe wykończenie miał pokój właścicielki domu, Grete (ryc. 6). Pokój najstarszej córki (Hanny) oraz opiekunki do dzieci zaprojektowano z użyciem forniru drewna zebra (ryc. 7). W innych po-

mieszczeniach stosowano ponadto forniry palisandru, orzecha (szafki), buku (blat stolika ogrodowego LR500 [ryc. 8]).

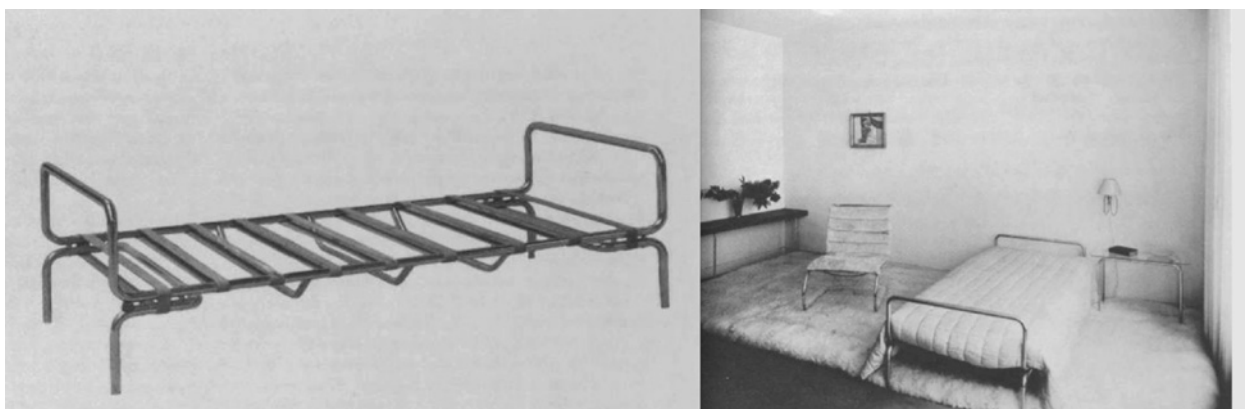
- **Eksponowanie naturalnej „dekoracyjności” materiałów naturalnych.** Wszystkie wykorzystywane materiały były misternie dobierane i wzajemnie dopasowywane. Istotne było zestawienie usłojenia drewna, jak również rysunek użytkownika poszczególnych tafli kamienia. Równie ważną rolę odgrywało światło, zarówno naturalne, jak i to sztuczne, które prześwietlało przegrody wykonane ze zmatowionego czy mlecznego szkła lub przenikało cienkie tafle onyksu, nadając im i całemu wnętrzu niespotykane dotychczas ciepło i blask. W całych wnętrzach dominuje błysk, poczynawszy od polerowanego marmuru, refleksyjnych płaszczyzn pełniących funkcję luster, skończywszy na refleksach światła na chromowanych słupach konstrukcyjnych.

- **Akcentowanie kolorem.** Wnętrza Lilly miały zawsze uporządkowany, wręcz surowy charakter. Ta pozorna monotonia przełamywana była ożywionymi, lśniącymi kolorami, np. meble w czarnym drewnie były na fragmentach (tylna ścianka) rozjaśniane błękitem lub pomarańczą.

- **Prostota i ekonomika mebla.** Meble projektowane przez Lilly Reich wpisywały się w nurt mebli o konstrukcji stalowej, zapoczątkowany przez Marcela Breuera. Jej najbardziej znane meble charakteryzują się prostotą konstrukcji i formy. Krzesło LR120 (ryc. 8) wsparte jest na konstrukcji rurowej w kształcie zbliżonym do litery „C”, co wyróżnia je od innych krzeseł wspornikowych opartych na konstrukcji „S”. Samo siedzisko charakteryzuje się wolną od podparcia przednią krawędzią, przez co łydki siedzącego nie dotykają do żadnego elementu konstrukcji krzesła. W pozosta-wionych przez Reich szkicach koncepcyjnych można zauważyć zainteresowanie i poszukiwania formy siedziska, które byłoby odpowiednio wygodne i ergonomiczne.

Inną nowością przez nią stosowaną było łączenie rur stalowych z drewnem. Proponowane przez nią rozwiązania miały charakter pionierski [Ch. Sievers 2001], wykorzystywała je zazwyczaj przy konstrukcji komód i witryn zaprojektowanych do wnętrz mieszkalnych. To ona jako pierwsza zaczęła robić siedziska z plecionego ratanu zamiast twardej sklejk. Rozwiązania te zaproponowała po raz pierwszy do krzeseł Thoneta, rozwiązanie przejęte zostało później przez tę firmę.

Oprócz krzeseł i siedzisk Lilly projektowała kanapy, wsparte na prostokątnym stelażu z rur stalowych, do którego jako konstrukcję wsporczą zastosowano skórzane pasy, a dopiero na niej montowano poduszki



Ryc. 9. Stelaż łóżka (LR 600); źródło: www.moma.org, oraz łóżko (LR610) prezentowane na wystawie *Die Wohnung unserer Zeit*, Berlin, 1931, źródło/source: „Die Form” 1931, s. 246

Fig. 9. Bed frame (LR 600); source: www.moma.org, oraz łóżko (LR610) prezentowane na wystawie *Die Wohnung unserer Zeit*, Berlin, 1931, źródło/source: „Die Form” 1931, s. 246

lub materac. Właśnie takie rozwiązanie wykorzystano w łóżku LR610 (na stelażu LR600 [ryc. 9]).

Jedną z bardziej interesujących propozycji Lilly Reich była zaprezentowana na wystawie *Die Wohnung unserer Zeit* „szafa do gotowania”. Był to mebel, który wydawał się zwykłą szafą, jednakże po otwarciu stawał się aneksem kuchennym (ryc. 10). Wnętrze wyposażone było w płytę kuchenną z dwoma palnikami elektrycznymi, odcinek blatu stanowiący miejsce pracy oraz niewielki zlewozmywak podłączony do odpływu. Szafa była w kilku odmianach – w zależności od zapotrzebowania można było wybrać bardziej rozbudowaną for-

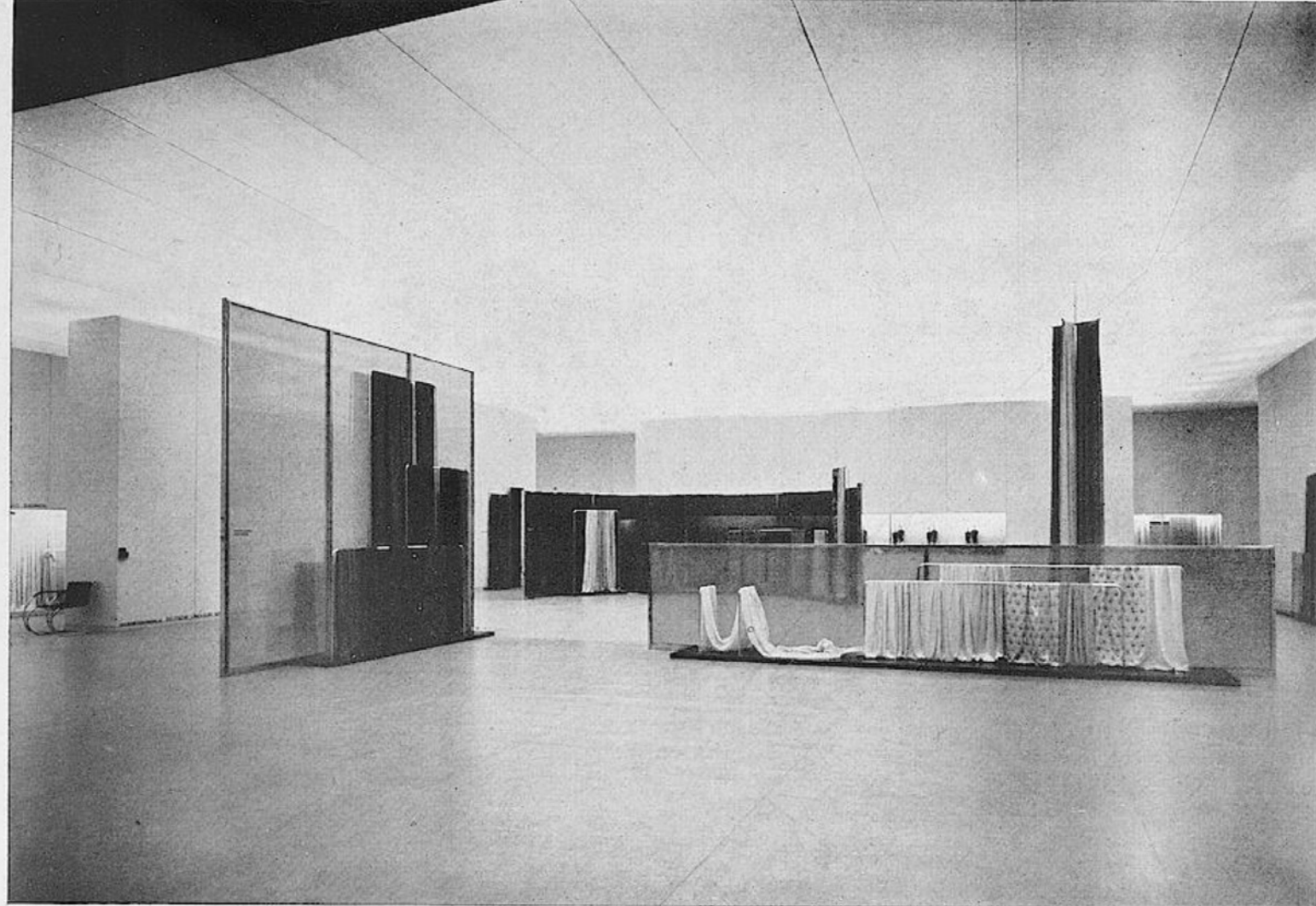
mę, w której umieszczony był też elektryczny piekarnik, a także elektryczny zbiornik ciepłej wody. Całość uzupełniały szuflady i haczyki niezbędne do zorganizowania stanowiska pracy. Aby ograniczyć wpływ wytwarzanej podczas gotowania pary wodnej, szafa zaopatrzona była dodatkowo w wentylator. Została zaprojektowana do jednopokojowych apartamentów lub domków letniskowych, w których było podłączenie do instalacji elektrycznej i bieżącej wody [K. Scheffler 1932].

• **Szlachetne wykończenie mebli.** Tak jak zaznaczono, Reich projektowała meble z użyciem szlachetnych odmian drewna, stoły wykonywane były



Ryc. 10. Szafa do gotowania, wystawa *Die Wohnung unserer Zeit*; źródło: www.moma.org

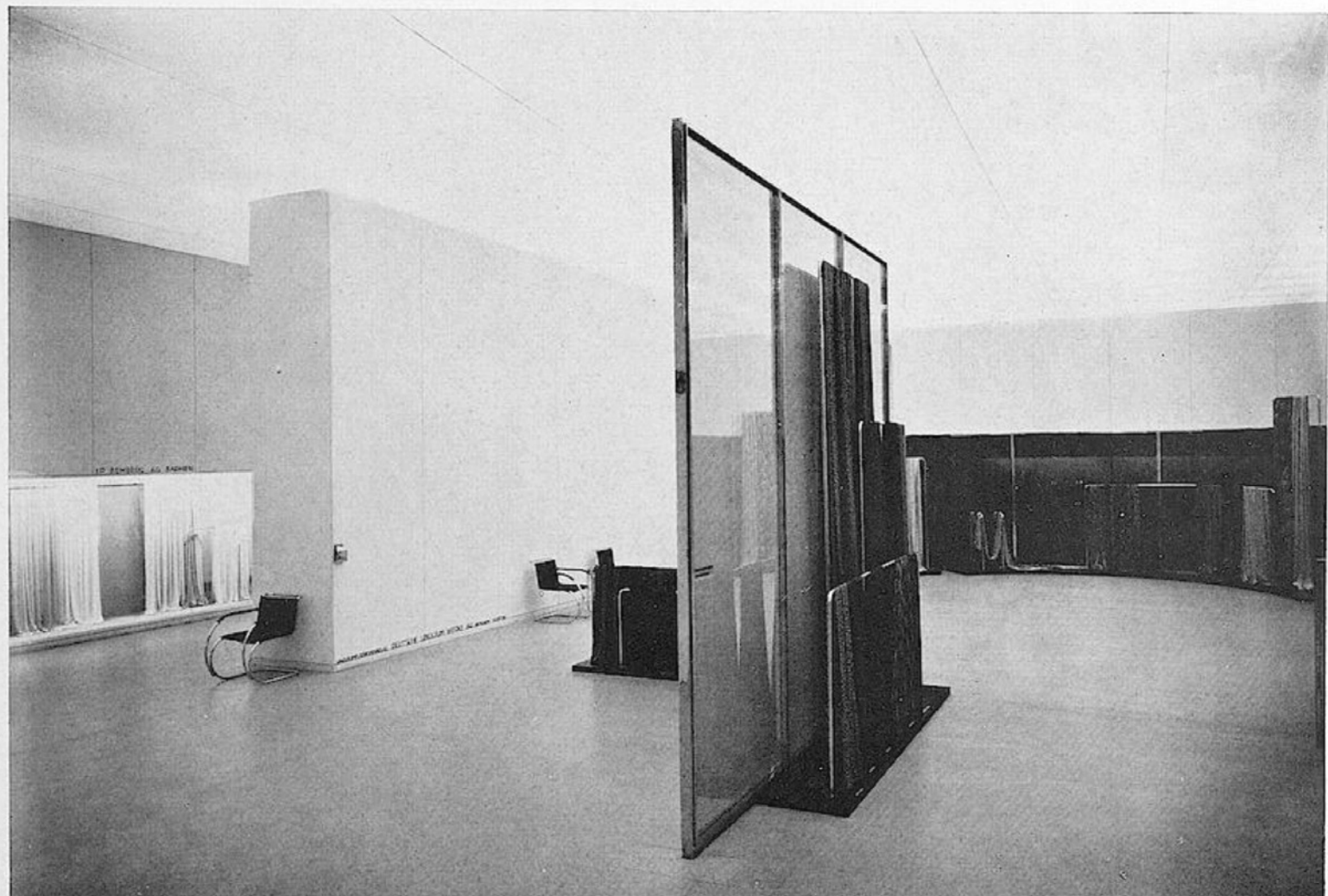
Fig. 10. Cooking dresser, *Die Wohnung unserer Zeit* exhibition; source: www.moma.org

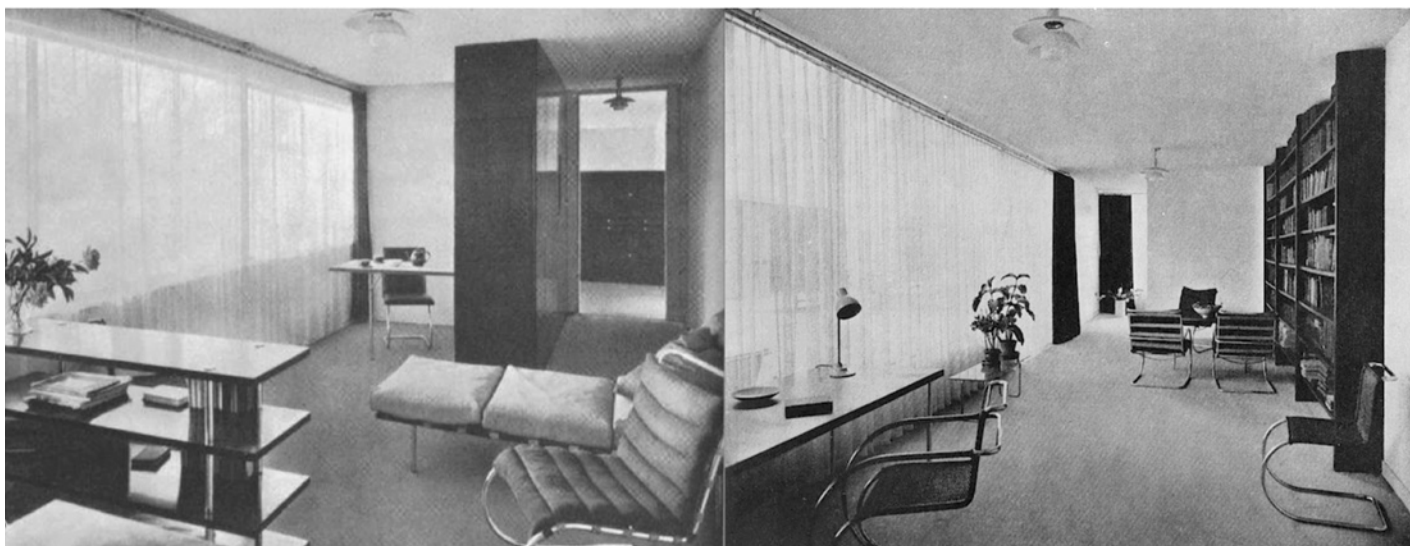


Der deutsche Seidenraum
Lilly Reich und Mies van der Rohe

Fotos Berliner Bild-Bericht

Ryc. 11 a i b. Ekspozycja tkanin na szkle, wystawa światowa w Barcelonie 1929; źródło: „Die Form” 1929, s. 429
Fig. 11 a, b. Fabric on the glass exhibition, the World Exhibition in Barcelona 1929; source: „Die Form” 1929, s. 429





Ryc. 12. Z lewej wnętrze projektu bursy studenckiej, po prawej wnętrze przykładowego salonu w domu, w głębi przejście do jadalni, wystawa *Die Wohnung unserer Zeit*; źródło: www.moma.org
Fig. 12. On the left: a dormitory interior, on the right: exemplary living room, in depth: transition to dining room, *Die Wohnung unserer Zeit* exhibition; source: www.moma.org

z cennego drewna różanego lub orzechowego. Równie drogie były wykończenia siedzisk kanap i foteli. Fotele zlokalizowane w Glasraum pokryte były czarną i białą kozią skórą. Oryginalne (niezachowane) krzesło Barcelona miało poduszki siedzenia i oparcia wypełnione pierzem oraz powleczone było świńską skórą. Modele późniejsze wypełnione były pianką i wykorzystywano w nich tańszą skórę bydlęcą. Do wykończenia siedzisk mebli stosowana była także srebrnoszara wełna, skóra w kolorze szmaragdowym, jak również rubinowy aksamit.

- **Tkaniny we wnętrzu.** Działanie przestrzenne zastosowano po raz pierwszy na wystawie jedwabiu w ramach *Café Samt & Seide* (Berlin, 1927), na której zawieszono liczne różnokolorowe tkaniny o różnej szerokości, długości i stopniu przeźroczystości. Konstrukcje te tworzyły zjawiskową strukturę przestrzenną, która w zależności od miejsca obserwacji przyjmowała rozmaite kompozycje przestrzenne i barwne. W późniejszych projektach wnętrz tkaniny często wykorzystywane były jako przegrody pozornie wydzielające przestrzeń, dające poczucie częściowego wyizolowania. W domu Tugendhatów Reich użyła zarówno tkanin wolno wiszących, jak i rodzaju zasłon zawieszonych przy oknach (ryc. 5). Co ciekawe, jedwabie powieszzone w przestronnych oknach nie pełniły funkcji osłony, a jedynie miały wyeliminować wieczorny efekt odbicia lustrzanego w szybach. Przeszklenie ogrodu zimowego oraz przestrzeń jadalni przesłaniał czarny jedwab Shantung⁶, przy południowej ścianie dominował jedwab srebrnoszary, pomiędzy ogrodem zimowym a ścianą

z onyksu zawisł czarny aksamit, za nią pojawił się aksamit biały.

- **Stosowanie różnego rodzaju i stopnia przenikania i przejrzystości.** Wykorzystane we wnętrzach przeszklenia i tkaniny odznaczały się, jak wspomniano, zróżnicowaną przejrzystością. W związku z tym oprócz urozmaicenia wizualnego dawały one też możliwość regulowania w pomieszczeniach ilości i rodzaju przepuszczanego światła.

W Glasraum zastosowano różnego rodzaju przejrzystość szkła, a dodatkowo część tafli była przesuwana, co wzmacniało możliwości regulacji przenikania oświetlenia.

Wykorzystywanie wolno stojących tafli szkła stało się charakterystycznym motywem jej twórczości wystawienniczej. Podczas wystawy w Barcelonie, w części wystawowej, Lilly, która była tam dyrektorem artystycznym wszystkich ekspozycji, stworzyła zestaw wolno stojących kolorowych szklanych ścian, na których wyeksponowano tekstylia. Zabieg ten pozwolił na przestrzenne ukazanie tkanin przy jednoczesnym zachowaniu przestrzenności pomieszczenia. Szkło było w tym przypadku jedynie stelażem, który wraz z białymi ścianami i białym linoleum stał się nieinwazyjnym tłem ekspozycji (ryc. 11).

- **Przestrzenność i przestronność.** Urozmaicona przejrzystość przegród w jednoprzestrzennych wnętrzach dawała poczucie zwiększenia miejsca. Pojawiające się dodatkowo w refleksyjnych taflach szkła lub szybach zwielokrotnione wzajemne odbicia sprawiały wrażenie przestrzeni pozornie nieskończonej, o niespre-

⁶ Shantung (szantung) – rodzaj miękkiej tkaniny jedwabnej wykonanej z surowej przędzy z charakterystycznymi grudkowatymi nieregularnościami.

cyzowanych krańcach. Do tego uzupełnieniem były lekkie przezroczyste meble ze stali i szkła. Wyjątkową przestronność zapewniały także układy opierające się na wprowadzaniu zmienności i ruchu, zarówno taflę szkła, jak i poruszających się tkanin. Nowością wystawienniczą była możliwość dodatkowej obserwacji wystawy z góry – jak podczas *Café Samt & Seide* (1927) czy *Die Wohnung unserer Zeit* (1931). W Pawilonie Barcelona, architekturze współtworzonej z Miesem van der Rohe, wykorzystano ponadto zabieg optycznego przenikania w trzecim wymiarze za pomocą odbicia lustrzanego w basenie z wodą.

Wystawa *Die Wohnung unserer Zeit* (1931) w Berlinie składała się z wielu przykładowych mieszkań, które we wnętrzu Halle II zaprojektowali zaproszeni architekci (m.in. W. Gropius, M. Breuer, H. Häring, L. Mies van der Rohe). Centralnie ustawione budynki Miesa i Lilly połączone były jedną długą ścianą. Mieszkania zostały rozplanowane w taki sposób, aby ich poszczególne funkcje się przenikały i nie zawsze odgradzane były drzwiami. Pojawiły się więc fragmentaryczne ściany, które częściowo przesłaniały przestrzenie albo wolno stojące meble odgrywające tę samą rolę. Całość rozwiązań charakteryzowała się dużą przestronnością, a delikatne formy mebli rurowych, odsunięte od otaczających je białych ścian, potęgowały to odczucie (ryc. 12).

- **Idea integracji wnętrza i zewnątrz.** Zapożyczona przejrzystością i wolnym planem w Pawilonie Barcelona, kontynuowana była w domu Tugendhatów. Oprócz przeszkleń salonu willa była wyposażona w system opuszczania okien do piwnicy, co dawało możliwość przekształcenia salonu w otwarty taras. Potęgowało to wzajemne przenikanie krajobrazu z wnętrzem, zacieranie granicy między przyrodą a człowiekiem. Podobne rozwiązanie zostało zastosowane w willi Langego. Działanie to pozwoliło na uzyskanie efektu wychodzenia obiektu poza spotykane dotychczas przestrzeń i skalę, stworzenia idei przestrzeni, która nie ma granic.

- **Tworzenie punktów widokowych we wnętrzu.** Wnętrza i przestrzenie wystawowe Lilly Reich projektowane były na zasadzie stop klatki. Designerka planowała, w którym miejscu „przytrzymać” widza i z tego punktu zaprezentować odpowiedni widok. Działania takie zostały zastosowane w Glasraum, gdzie dzięki różnym kolorom linoleum widz był wprowadzany do poszczególnych przestrzeni. Ten sam efekt, choć innymi środkami, został uzyskany w willi Tugendhatów,

gdzie poszczególne fragmenty przestrzeni znajdowały się w kącie dobrego widzenia i następowały jedna po drugiej. W tym przypadku nie ma możliwości zobaczenia (ani sfotografowania) całej przestrzeni w jednym kadrze.

PODSUMOWANIE

Lilly Reich była jedną z czołowych projektantek początku XX stulecia. Wcześniej doceniona, w wieku 27 lat została zaproszona⁷ do Werkbundu. Dzięki swojej działalności wymknęła się stereotypowemu postrzeganiu nie tylko roli kobiety, lecz także projektanta. Połączyła swoje wcześnie doświadczenia w zakresie haftu, krawiectwa, mody damskiej i doskonałej znajomości tekstyliów z umiejętnościami tworzenia przestrzeni wystaw sklepowych. Kolejne doświadczenia zdobyte podczas wystaw *Die Frau in Haus und Beruf* (Berlin 1912), *Haus der Frau* (Kolonja, 1914), zwłaszcza w technikach wystawienniczych stosowanych przy ekspozycjach „produktu” na targach przemysłowych, pogłębiły jej możliwości twórcze, czego efektem końcowym było stworzenie własnej techniki wystawienniczej. W kolejnych latach to ona, jako członkini komisji tematycznej z ramienia Werkbundu, decydowała kto i w jaki sposób urządzi ekspozycje w budynku Haus Werkbund na targach we Frankfurcie (1922–1926). Reich stała się kluczową postacią odpowiedzialną za stworzenie i podniesienie nowoczesnego designu wystawienniczego do rangi sztuki, była wyznacznikiem nowoczesności oraz niejako siłą napędową nowoczesnego designu. Na tym etapie swojego życia spotkała Miesa van der Rohego, a ich wzajemna współpraca zadziałała na zasadzie synergii. W trakcie czterech lat (1927–1931) powstały ich najznamienitsze dzieła z zakresu wystawiennictwa, architektury i projektowania wnętrz. Z takim багаżem Lilly odważnie wkroczyła do Bauhausu, gdzie przekazywała wiedzę dotyczącą projektowania wnętrz na podstawie własnego doświadczenia i praktyki zawodowej, cech, które były najistotniejsze w nauczaniu tej szkoły. Uczyła o funkcjonalności mebli, a także o barwach i tkaninach we wnętrzu.

Ten nowy etap nauczania ukierunkowany na architekturę i architekturę wnętrz trwał niestety zbyt krótko. Wszelkie działania powiązane z modernizmem były piętnowane i prześladowane wraz z dojściem nazistów do władzy. Właściwie od momentu przeniesienia uczelni do Berlina jej wykładowcy spotykali się już wyłącznie z represjami ze strony narodowych so-

⁷ Aby stać się członkiem Werkbundu należało być do niego zaproszonym przez jednego z członków zarządu. Lilly została zaproszona w 1912 roku przez Hermanna Muthesiusa. W 1920 roku, została sama (jako pierwsza kobieta) członkinią zarządu.

cialistów. Ze względu na problemy finansowe jedynie niewielki zakres działalności mógł być kontynuowany w nowym miejscu. W dniu 11 kwietnia 1933 roku policja i SA przeprowadziły rewizję w szkole, aresztowano 32 studentów oraz zaplombowano sale lekcyjne. W lipcu rada mistrzów pod przewodnictwem Miesa van der Rohego odrzuciła warunki otwarcia szkoły na zasadach określonych przez narodowych socjalistów. Ostatecznie Bauhaus został rozwiązany 10 sierpnia 1933 roku [bauhaus100.com].

Nie wiadomo, jaki wpływ miała Lilly na przyszłą twórczość swoich studentów, czy zdołała wpoić w nich własne zasady kształtowania wnętrza. Bez wątpienia natomiast jej twórczość oraz wyszczególnione główne cechy jej projektów powinny zainteresować dzisiejszych projektantów wnętrza. Tak aby współczesne wnętrza odznaczały się otwartością na światło naturalne oraz charakteryzowały się przestronnością i integracją, przynajmniej optyczną, wnętrza i zewnętrza.

LITERATURA

1. **Droste M. (1990)**, *Bauhaus, 1919–1933*, Bauhaus Archiv–Taschen, Köln.
2. **Droste M. (1996)**, *Lilly Reich: her career as an artist*, (w:) McQuaid M., *Lilly Reich Designer and Architect*, The Museum of Modern Art, New York.
3. **Otto E., Rössler P. (2019)**, *Bauhaus Women: A Global Perspective*, Bloomsbury Publishing PLC, London.
4. **Raizman D., Gorman C. (2007)**, *Objects, Audiences, and Literatures: Alternative Narratives in the History of Design*, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle.
5. **Scheffler K. (1932)**, *Das Möbel von Heute und Morgen*, „Deutsche Bauzeitung“, nr 11.
6. **Sharon-Stölzl (1931)**, *Die Entwicklung der Bauhausweberei*, „Bauhaus. Zeitschrift für Gestaltung“ nr 2, Bauhaus Dessau.
7. **Siebenbrodt M., Schöbe L. (2012)**, *Bauhaus 1919–1933, Weimar–Dessau–Berlin*, Parkstone International, New York.
8. **Stratigakos D. (2008)**, *A Women's Berlin: Building the Modern City*, The University of Minnesota, Minneapolis.

Strony internetowe:

1. **Sievers Ch.**, *Mies van der Rohe: Charakteristische Raumkonzepte: In der Textilkünstlerin und Designerin Lilly Reich findet der Architekt eine kreative Partnerin*. „Der Tagesspiegel“, 01.11.2001, <http://www.tagesspiegel.de>, 02.05.2014
2. www.bauhaus100.com

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy badawczej nr WZ/WA-IA/1/2020 w Politechnice Białostockiej i sfinansowane z subwencji badawczej przekazanej przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

MODELOWANIE INFORMACJI BUDOWLANYCH W TECHNOLOGII BIM – ROLA MODELU PARAMETRYCZNEGO

Krystyna Januszkiewicz, Karol G. Kowalski

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Architektury, ul. Żołnierska 50, 70-311 Szczecin

E-mail: krystyna_januszkiewicz@wp.pl, ORCID: 0000-0001-6880-0862

E-mail: karol.g.kowalski@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4061-7606

DOI: 10.24427/aea-2020-vol12-no4-02

BUILDING INFORMATION MODELING IN BIM TECHNOLOGY – THE ROLE OF THE PARAMETRIC MODEL

Abstract

BIM (Building Information Modeling) technology is presented against the background of the history of development of digital building information modeling systems, paying attention to industry integration and the role of the parametric model. Using the example of two completed objects such as the Dongdaemun Design Plaza (DDP) in Seoul (2007–2014) by Zaha Hadid Architects and the King Abdulaziz Centre for World Culture (ITHRA) in Dhahran (2006–2017) by Snøhetta, it is explained how the CAD/CAE/CAM implementation design strategy has an impact on parametric object-based modeling coupled with building information modeling. The data flow and the non-conflicting nature of the process of introducing changes to the working models are important here. Today, BIM technology is one of the most promising digital technologies and is still being improved based on the experience of designers and contractors.

Streszczenie

W artykule przedstawiono technologię BIM (ang. *Building Information Modeling*) na tle historii rozwoju cyfrowych systemów modelowania informacji o budynku, zwracając uwagę na integrację branżową i rolę modelu parametrycznego. Na przykładzie dwóch zrealizowanych obiektów, takich jak Dongdaemun Design Plaza (DDP) w Seulu (2007–2014) projektu Zaha Hadid Architects oraz King Abdulaziz Centre for World Culture (ITHRA) w Dhahranie (2006–2017) projektu Snøhetta, objaśniono, jaki wpływ ma strategia opracowywania projektu realizacyjnego w systemach CAD/CAE/CAM na obiektowe modelowanie parametryczne sprzęgnięte z modelowaniem informacji o budynku. Istotne znaczenie mają tu przepływ danych i bezkonfliktowość w procesie wprowadzania zmian w modelach roboczych. Obecnie technologia BIM jest jedną z bardziej obiecujących technologii cyfrowych i wciąż jest udoskonalana na podstawie doświadczeń projektantów i wykonawców.

WPROWADZENIE

Modelowanie informacji o budynku, BIM (ang. *Building Information Modeling*), jest obecnie jedną z bardziej obiecujących technologii cyfrowych powstałych z myślą o podwyższeniu efektywności w projektowaniu i wznoszeniu obiektów budowlanych. Technologia BIM pozwala dziś sporządzić wirtualny model budowli dokładnie tak, jak zostanie ona wybudowana. Model taki pomaga architektom, inżynierom i konstruktorom wizualizować to, co ma zostać zbudowane, w środowisku symulowanym, aby zidentyfik-

kować potencjalne problemy związane z projektowaniem, konstrukcją lub użytkowaniem. BIM zachęca do integracji wszystkie strony zaangażowane w projekcie. Modelowanie informacji o budynku nie może się jednak obejść bez modelowania parametrycznego. Model parametryczny projektowanego obiektu stanowi bowiem integralny element procesu BIM, gdyż zawiera opisy zadań inżynierskich i budowlanych, określa jego użytkowanie, ustalając relacje ze środowiskiem zbudowanym bądź naturalnym. Od informacji zawartych

w modelu parametrycznym inicjującym proces modelowania informacji o budynku zależą jakość opracowania kolejnych etapów obejmujących działania inżynierskie i budowlane, a także zarządzanie informacją o budynku.

1. INTEGRACJA BRANŻOWA

Definicja BIM (ang. *Building Information Modeling* – modelowanie informacji o budynku), jaką można się posłużyć, powstała w 2016 roku i odnoszona jest do całości procesu modelowania obiektu budowlanego oraz zarządzania informacją budowlaną w czasie przygotowania budowli do realizacji, a także podczas jej trwania (ryc. 1). Zgodnie ze standardami NBIMS (ang. *The National Building Information Modeling Standard*) z 2006 roku BIM może zawierać osiem zestawów danych: „(1) dane projektanta, (2) dane prawne, (3) dane geoprzestrzenne, (4) dane finansowe, (5) dane sporządzającego specyfikację, (6) dane o środowisku, (7) dane wspierające oraz (8) dane właściciela”.

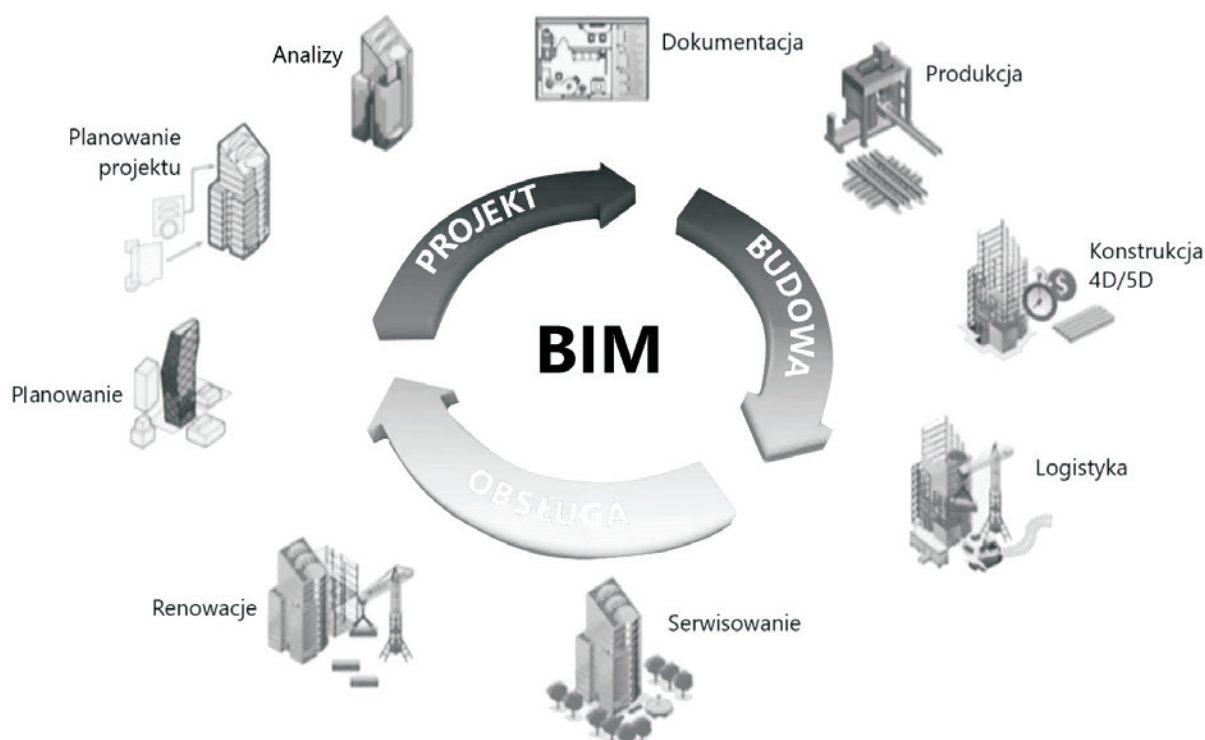
W 2008 roku na podstawie tych standardów amerykański Narodowy Instytut Nauk Budowlanych (NIBS) określił BIM jako „(...) wyłaniające się z technologii oraz nowych struktur biznesowych wykorzystywanie pojęć i koncepcji oraz praktyk w zakresie otwartej interoperacyjnej wymiany informacji. To nowe podejście do

współpracy ma także wpływ na inżynierię procesów, które w znaczny sposób mogą zmniejszyć ilość odpadów w przemyśle budowlanym”.

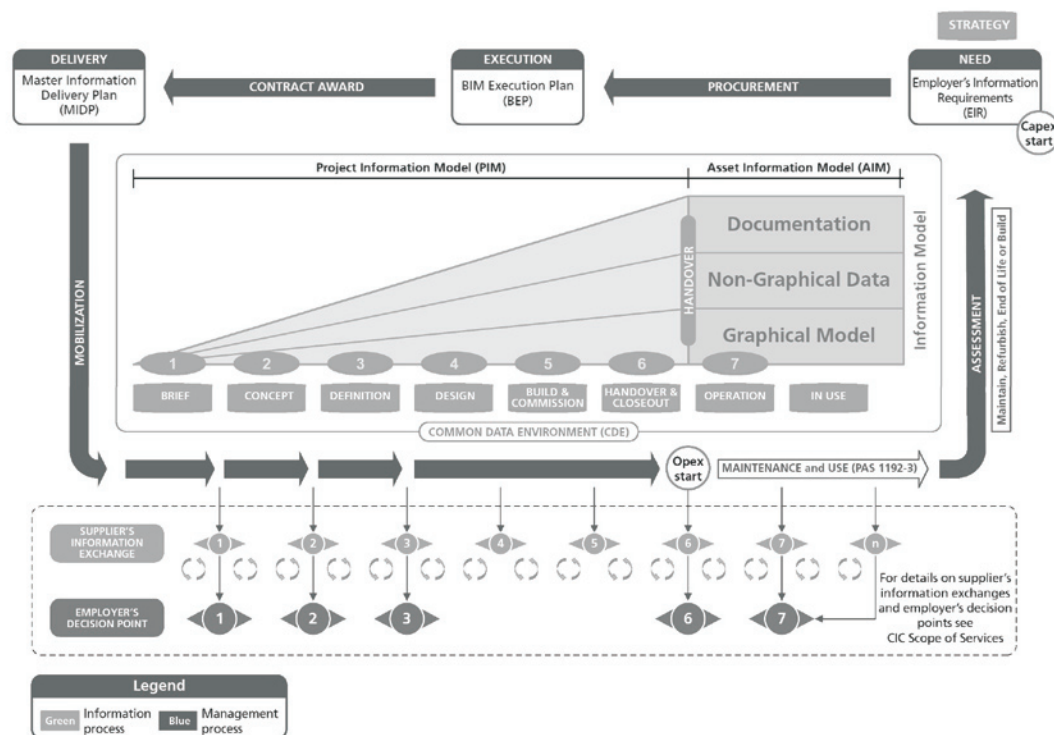
1.1. Historia rozwoju technologii BIM

Pomysł, aby dane o fizycznych i funkcjonalnych właściwościach budowli zamienić na operacyjny format cyfrowy, nie jest nowy. Pierwsza implementacja takiego formatu, pod nazwą *Virtual Building*, nastąpiła w 1987 roku z inicjatywy Graphisoft ArchiCAD. Niedługo potem ten sam pomysł został zrealizowany przez Phila Bernsteina, architekta i stratega branży budowlanej, który wprowadził i spopularyzował nazwę BIM [G. Lee, R. Sacks, Ch.M. Eastman 2006, s. 758–776]. Wcześniej format ten funkcjonował pod nazwą BPM (*Building Product Models*) i pozwalał stworzyć w przestrzeni wirtualnej inwestycję budowlaną, od koncepcji począwszy, na oddaniu jej do użytku skończywszy. Współczesny BIM jest rozszerzeniem tamtej wersji, daje szerszy dostęp do informacji budowlanych i pozwala określać zachowania obiektu oraz koszty eksploatacji przez czas życia budowli.

BIM to proces łączenia informacji i technologii w celu stworzenia cyfrowej reprezentacji projektu. Umożliwia integrację danych z wielu źródeł i rozwija je równolegle podczas trwania procesu projektowego, obejmując projektowanie, budowę i użycie informacji



Ryc. 1. Schemat integracji i przepływu informacji o budynku w procesie ich modelowania w systemie BIM; źródło/source: BIMVentor - Polska



Ryc. 2. Diagram korelacji procesów dostarczania informacji i zarządzania informacją BIM 2 PAS 1192-2; źródło/source: Ch. Eastman et.al., (2011), BIM Handbook [8]

operacyjnych [S. Mordue, P. Swaddle, D. Philp 2016, s. 8]. W ciągu ostatnich 30 lat technologia BIM przeszła duże przeobrażenia, a wraz z jej rozwojem zmieniała się również terminologia.

Pierwsze udokumentowane definicje dotyczyły cyfrowego modelowania budynku, BM (ang. *building modeling*), i powstały w 1986 roku za sprawą Simona Ruffle'a [S. Ruffle 1986, s. 385–389] oraz Roberta Aisha [R. Aish 1986]. Ten ostatni odnosił modelowanie budynku do wszystkich jego cech, jakie dziś znamy, tj. modelowania 3D, techniki automatycznego uzyskiwania rysunków, inteligentnych komponentów parametrycznych, relacyjności baz danych, oraz czasowego etapowania procesów budowlanych. W obecnym rozumieniu koncepcja modelowania informacji o budynku BIM po raz pierwszy została użyta w 1991 roku w artykule Gilesa A. (Sander) van Nederveena i Fritsa P. Tolmana, w którym tak nazwano techniki wieloaspektowego przedstawiania budynku przy użyciu widoków jego modelu [G.A. van Nederveen, F.P. Tolman 1992, s. 215–224].

Stworzona przez van Nederveena i Tolmana koncepcja została wykorzystana dopiero po upływie dekad, przez firmę Autodesk, która w 2002 roku wydała białą księgę pt. *Building Information Modeling*. Modelowanie informacji o budynku scharakteryzowano w niej jako takie, które „tworzy i działa na cyfrowych bazach danych poprzez współpracę oraz zarządzanie zmianami

w tych bazach danych. Dzięki temu każda zmiana jest skoordynowana i widoczna we wszystkich jej częściach. Ponadto zbiory danych oraz informacje są przechowywane i dostępne do ponownego wykorzystania, także przez aplikacje dedykowane do określonych branż”.

Jerry Laiserin w serii artykułów (2002, 2003, 2005, 2007) spopularyzował koncepcję BIM, zaznaczając w 2007 roku, że definicja, jaką stworzył w 2002 roku, znacznie już ewoluowała. Jego zdaniem „BIM jest procesem reprezentacji, który tworzy i zapewnia, pod każdym względem, wielowymiarowe spojrzenie w dane o budynku przez cały cykl życia obiektu” [J. Laiserin 2007, s. 46]. Zaznaczyć należy, że przez dostęp do informacji zwrotnych ulepszony został proces projektowania, tworzenia dokumentacji i jej dostarczania. Komunikacja między zaangażowanymi stronami, poprzez udostępnianie danych ułatwiła m.in. sporządzanie symulacji przyszłych zachowań budynku i zachodzących w nim procesów. W pierwszej dekadzie XXI wieku niektórzy producenci systemów CAD promowali swoje rozwiązania dla BIM, można tu wymienić: ArchiCAD od firmy Graphisoft; Revit Architecture, Structure oraz MEP od Autodesku; Digital Project firmy Gehry Technologies; Bentley Architecture, Structural, Building Electrical oraz Building Mechanical od firmy Bentley Systems. Do rozwoju BIM znacznie przyczyniło się wdrożenie opracowanej w latach 90. koncepcji SBM (ang. *Single Building Model* – model jednego budynku).

2. ZESTAWY DANYCH I POZIOMY BIM

W 2008 roku Mark Bew i Mervyn Richards przedstawili na diagramie brytyjski model zwany *dojrzałością BIM*, bez którego trudno byłoby zrozumieć rozwój modelowania informacji budowlanych (ryc. 2). Model ten, rozpowszechniony przez British Standards Institution (BSI), obejmował wówczas cztery poziomy BIM, które były nośnikami informacji związanych m.in. z dokumentacją papierową, dwuwymiarową oraz zaawansowanym modelem cyfrowym 3D. Te cztery poziomy BIM (od 0 do 3) zostały później rozszerzone przez branżę przemysłową (do 4D, 5D, 6D, 7D oraz XD) i można je opisać następująco:

- BIM Poziom 0 – nie obejmuje współpracy zespołu, a jedynie tworzenie rysunków CAD w 2D, gdzie praca odbywa się za pomocą jednostronnie zintegrowanego systemu zarządzania. Na tym poziomie wymagana jest stała komunikacja z każdą zainteresowaną stroną, ponieważ trudno śledzić wszystkie zmiany, co powoduje większe prawdopodobieństwo błędu, tym bardziej że podstawą do komunikowania się jest papierowa dokumentacja.
- Poziom BIM 1 – charakteryzuje się już większą współpracą zespołu, gdzie kooperacja oparta jest na plikach w niektórych środowiskach CAD 3D, co pozwala lepiej zarządzać pracami nad projektem. Poziom ten wykorzystuje standard BS 1192:2007, który zapewnia lepszą metodę opracowywania, organizowania i zarządzania informacjami dla branży budowlanej, przy ściśle określonej polityce związanej z nazewnictwem.
- Poziom BIM 2 – wyznacza standard, w którym każdy pracuje na własnym modelu w środowisku 3D i korzysta z możliwości współpracy z innymi członkami zespołu oraz branżami. W 2016 roku rząd brytyjski opublikował oficjalną implementację do poziomu BIM 2, skierowaną do liderów branżowych, projektantów i producentów. Jest to PAS 1192-2, który określa wymagania dotyczące tworzenia informacji architektonicznych, inżynierskich i konstrukcyjnych. Wprowadzono także podział zintegrowanego procesu inwestycyjnego IPD (ang. *integrated project delivery*) na PIM (ang. *project information model*), IE (ang. *Information Exchange*) oraz AIM (ang. *Asset Information Model*).
- Poziom BIM 3 – pozwala na otwartą integrację danych, co umożliwia scentralizowaną współpracę i zarządzanie projektami nie tylko w kooperacji z innymi branżami, lecz także zarządzania finansami oraz cyklem życia budynku. Stałe powiadomienia o zmianach są możliwe dzięki formatom IFC/IFD.
- BIM 4D – pozwala już na wyodrębnianie i wizualizowanie postępów działalności projektanta. Zapewnia aktualne informacje związane ze złożonością każdej dokonywanej zmiany, umożliwia większą kontrolę nad wykrywaniem konfliktów i zapewnia wizualizowanie obiektu w dowolnym momencie zaawansowania prac [P. Kogut, A. Tomana 2013].
- BIM 5D – zawiera informacje związane z kosztorysami szczegółowymi, które są generowane w czasie rzeczywistym przez okres trwania procesu budowlanego.
- BIM 6D – obejmuje aspekty związane ze zrównoważonym rozwojem budynku, skutkami zmiany klimatu, jak np. analizy środowiskowe i energetyczne.
- BIM 7D – dostarcza pełne spektrum informacji o cyklu życia obiektu i zarządzaniu procesem budowlanym. Zawiera niezbędne dla właściciela budowli dane związane z użytkowaniem i konserwacją obiektu [L. Ustinovičius, R. Rasiulis, L. Nazarko, T. Vilutienė, M. Reizgevičius 2015, s. 167–168].
- BIM XD – zawiera wszystkie dodatkowe dane, które można by nadal dodawać do innych wymiarów.

Zintegrowanie różnych informacji i procedur w jednym formacie cyfrowym, wymiany danych to koncepcja BIM, która obecnie ewoluuje w stronę technologii wykorzystujących wirtualne centra danych, zaliczane do BIM 2.0.

Praca projektanta polega zatem na modelowaniu informacji o budynku, czyli na budowaniu w przestrzeni wirtualnej modelu obiektu budowlanego, który jest odzwierciedleniem zapisanych cyfrowo danych. Model ten składa się z cyfrowych elementów budowlanych, którym przypisywane są odpowiednie parametry. Każda zmiana, nawet w jednym elemencie tworzącym model, jest odzwierciedlana w jego trójwymiarowej reprezentacji, jak też w arkuszach danych zbiorczych. Stosując takie narzędzia projektowania, można nie tylko śledzić informacje o fizycznych oraz funkcjonalnych właściwościach budowli i czerpać z tego korzyści, lecz także stworzyć nowatorską konstrukcję, modelowaną za pomocą narzędzi parametrycznych udostępnianych przez BIM. Poszukiwania nowych pomysłów, eksperymentowanie i tworzenie koncepcji polemicznych są niejako wpisane w misję i zawód architekta. Technologie BIM nie ograniczają takich poszukiwań i otwierają nowe obszary eksploracji w projektowaniu architektonicznym i urbanistycznym. W 2006 roku technologia BIM po raz pierwszy wykorzystana została w kształtowaniu formy architektonicznej.

2.1. Aplikacje sieciowe – BIM 2.0

W ostatnich latach postęp w technologiach informacyjnych doprowadził do zmian w interpretacji tego, czym jest BIM. Inny sposób projektowania, zarządzania i budowy jest konsekwencją rozwoju infotechnologii w zakresie usług związanych z przesyłem danych (sieci sensorowe, sieci semantyczne czy technologie „chmury”). Powoduje to przededefiniowanie roli modeli informacyjnych, zwłaszcza w aspekcie dostępu do informacji pozwalających na wykonanie coraz bardziej skomplikowanych projektów, co pociąga za sobą wprowadzanie nowych metod zarządzania. Podczas gdy BIM 1.0 był strategią zarządzania informacją (o projekcie i budowie), to BIM 2.0 jest już strategią zarządzania informacją za pomocą wirtualnego centrum danych. Jest to dostępna przez Internet metoda zarządzania projektami, procesami i budową, w której atutem jest interoperacyjność, czyli *„zdolność dwóch lub więcej systemów informatycznych albo ich komponentów do wymiany informacji i do jej użycia”* [IEEE 1990, s. 42].

Phil Bernstein (2012) zdefiniował BIM 2.0 jako system wykorzystujący potencjał modelowania cyfrowego do opracowywania wysoce zintegrowanej dokumentacji projektów architektonicznych oraz zrealizowania procesu produkcji i zarządzania informacjami w zintegrowanych cyfrowych przepływach pracy branży AEC [P. Bernstein 2012, s. 72–73]. Wojciech Kopka (2016) uważa że *„BIM 2.0 można określić jako parametryczny BIM uzupełniony o zautomatyzowane analizy, ewaluację i optymalizację. Parametryczny BIM ułatwia projektowanie, analizy i dokumentację budynków o skomplikowanym kształcie zwanym «free-form»”* [W. Kopka 2016, s. 434].

Kamieniem milowym w rozwoju BIM 2.0 było wprowadzenie aplikacji sieciowych. Przyczyniła się do tego usługa CloudBIM definiowana przez Interfejsy Programowania Aplikacji (ang. *Application Programming Interface – API*). API to *„zestaw procedur używanych przez oprogramowanie aplikacyjne skierowane na wykonanie procedur przez system operacyjny komputera”* [Microsoft Corporation 2002, 33]. W CloudBIM wykorzystuje się technologię „chmury”, która pozwala na interoperacyjność pomiędzy różnymi platformami i aplikacjami oraz usprawnia proces przepływu danych.

Płynna integracja aplikacji w środowisku CloudBIM jest istotna dla modelowania parametrycznego opartego na obiektach, gdyż usprawnia proces optymalizacji, wykonywania analiz, symulacji i dokumentacji obiektów o złożonych formach. Modelowanie parametryczne w BIM 2.0 wykorzystuje odpowiednie otwarte formaty szeregowania danych zarówno w sieci, jak i urządzeniach przenośnych. Zaliczamy do nich m.in. różne aplikacje sieci Web do transmisji danych, a tak-

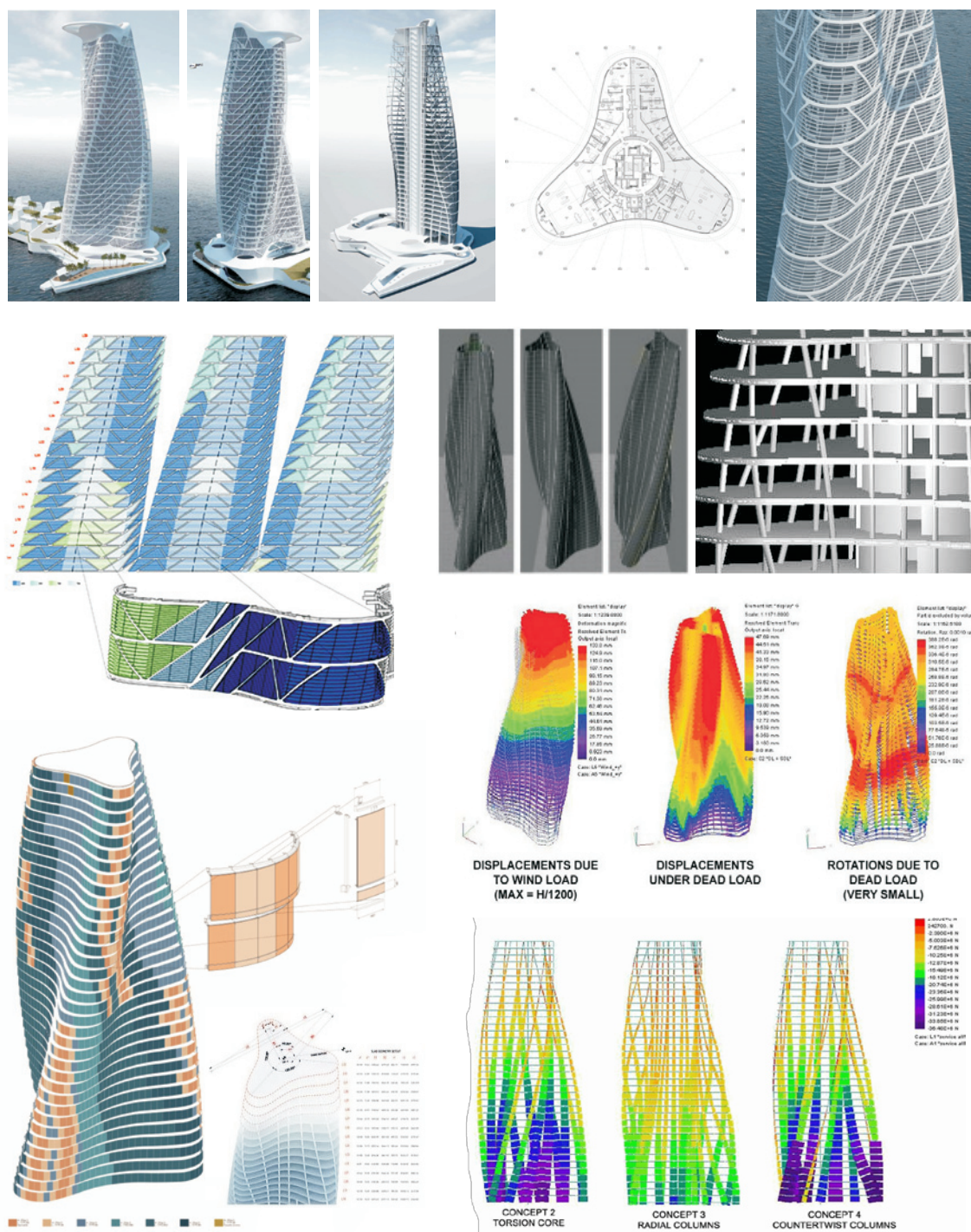
że JavaScript Object Notation [K. Afsari, D.R. Sheldon, Ch.M. Eastman 2016, s. 907–909]. Komunikacja wieloplatformowa jest oparta na prostym mechanizmie żądań i odpowiedzi i jest ona wykonalna dzięki uwzględnieniu wszystkich parametrów, cech oraz zasad, które są wymagane i zrozumiałe dla interdyscyplinarnego zespołu branży AEC.

Technologia BIM jest już powszechnie stosowana w budownictwie i jednoczy w nowy sposób architektów, inżynierów i budowniczych. Te trzy różne, lecz powiązane z sobą branże tworzą w krajach rozwiniętych jedną gałąź nazwaną AEC (ang. *Architecture Engineering Construction*) [E. Kornbau 2008]. Branża ta, korzystając z najnowszych wersji cyfrowego modelowania informacji o budynku, wykorzystuje modele trój- i czterowymiarowe, podnosząc znacznie wydajność środowiskową, materiałową i energetyczną środowiska zbudowanego.

3. BIM W PROJEKTOWANIU OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH

W architekturze technologia BIM po raz pierwszy wykorzystana została w 2006 roku. Wtedy biuro Asymptote Architecture z Nowego Jorku otrzymało zlecenie od Aldar Properties na zaprojektowanie wysokiego budynku mieszkalnego przy Al Raha Beach w Abu Zabi. Oczekiwano, że dzięki wyjątkowej formie Strata Tower stanie się znakiem przestrzennym nowo powstałej dzielnicy nad brzegiem Zatoki Perskiej. Do współpracy zaproszono firmy ARUP (inżynieria strukturalna) i Gehry Technologies (BIM), których specjaliści wraz z architektami pracowali wspólnie nad projektem już od etapu formułowania koncepcji.

Wyobrażano sobie wybudowanie podwójnie skręconej dwukrzywiznowej wieży o wysokości ponad 160 metrów. Przedstawiony trójwymiarowy model parametryczny zawierał podstawowe informacje o ukształtowaniu strukturalno-przestrzennym i funkcjonalnym obiektu. Model ten był podstawą do dalszych prac nad projektem, był wirtualną bazą podstawowych danych. Umożliwiał wszelkie modyfikacje przeprowadzane manualnie albo numerycznie, co pozwalało projektantom na manipulowanie wieżą i obserwację skutków ich decyzji w czasie rzeczywistym, na ekranie komputera. Każda zmiana była rejestrowana w arkuszach bazy danych, w kolumnach odnoszących się zarówno do całości kształtu obiektu, jak i jego elementów składowych, jak np. ściany zewnętrznej, poszczególnych pięter czy elementów strukturalnych. Aby zapobiec odkształceniom wynikającym z momentu obrotowego działającego na konstrukcję rdzenia budynku, przeprowadzono na tym modelu analizy i sy-

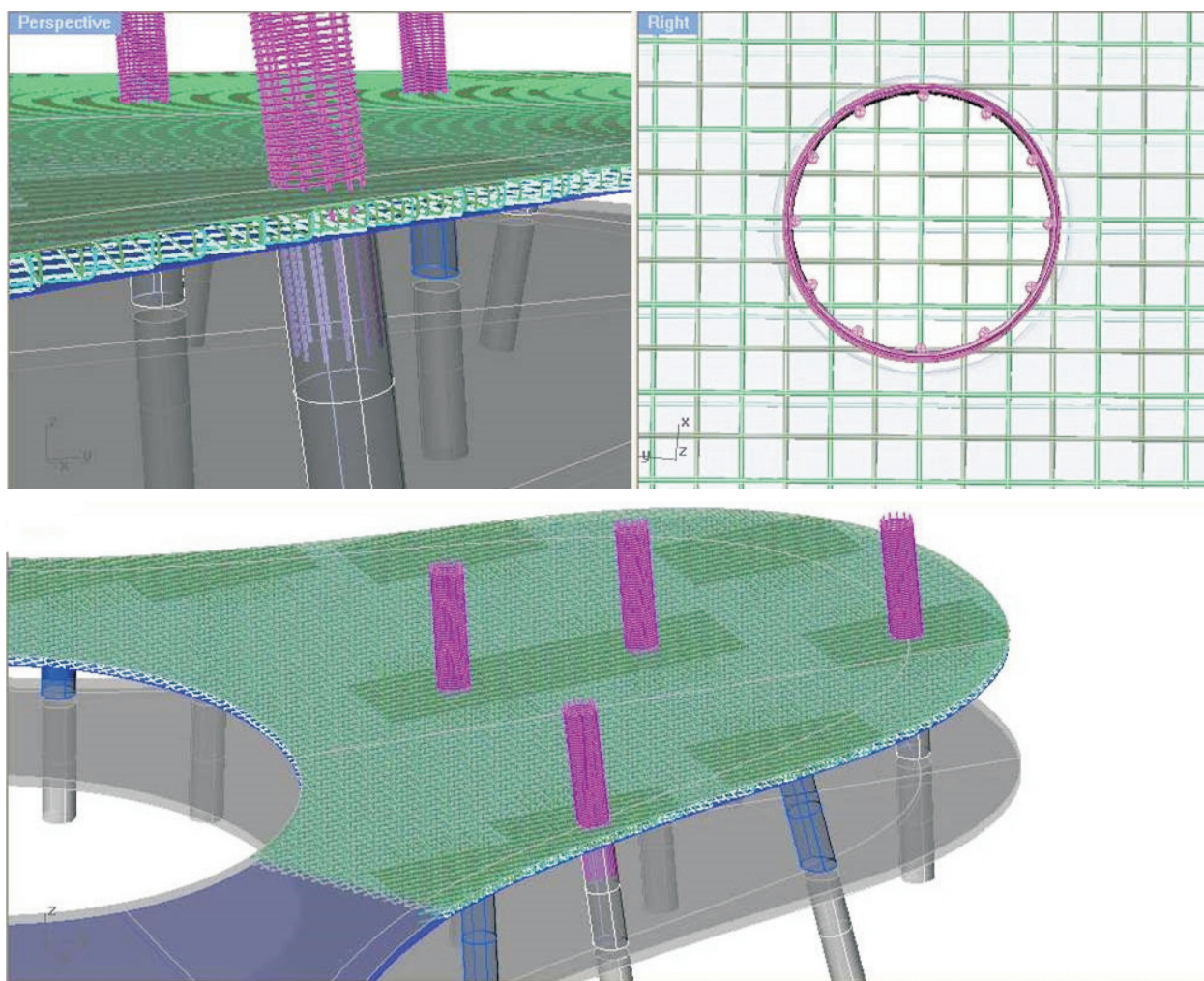


Ryc. 3. Asymptote Architecture, Strata Tower, Abu Zabi, ZEA, 2006–2008. Pierwsze zastosowanie technologii BIM w architekturze **a)** projekt koncepcyjny architektoniczno-strukturalny oparty na NURBS, **b)** projektowanie fasady, **c)** bazowy model parametryczny, **d)** koncepcyjny model strukturalny, **e)** analizy strukturalne fasady, **f)** przykładowy arkusz zapisu danych, **g)** stropy i słupy; źródło: dzięki uprzejmości Asymptote Architecture/ source: courtesy Asymptote Architecture

mulacje, by wykluczyć niepożądane naprężenia i poprawić stabilność obiektu.

Sprzężenie narzędzi symulacyjnych, parametrycznych i modelowania informacji o budynku formułuje nowy proces projektowy. Architekt odgrywa w nim rolę eksperymentatora kierującego polemiką

dotyczącą kierunku, w jakim będzie rozwijany projekt. Podkreślić należy, że od początku procesu projektowania model wirtualny był trójwymiarową bazą danych umożliwiającą automatyczny dobór i obliczanie kosztów materiałów oraz samej budowy czy też wydatków związanych z użytkowaniem obiektu po jej zakońc-



Ryc. 4 a-b. Asymptote Architecture, Strata Tower, Abu Zabi, ZEA, 2006–2008, BIM stropy i słupy żelbetowe; źródło: dzięki uprzejmości Asymptote Architecture/ source: courtesy Asymptote Architecture

niu. Strategie projektowe uwzględniające modelowanie parametryczne i modelowanie informacji o budynku są obecnie podejmowane przez większość biur projektowych na świecie.

3.1. Dongdaemun Design Plaza w Seulu

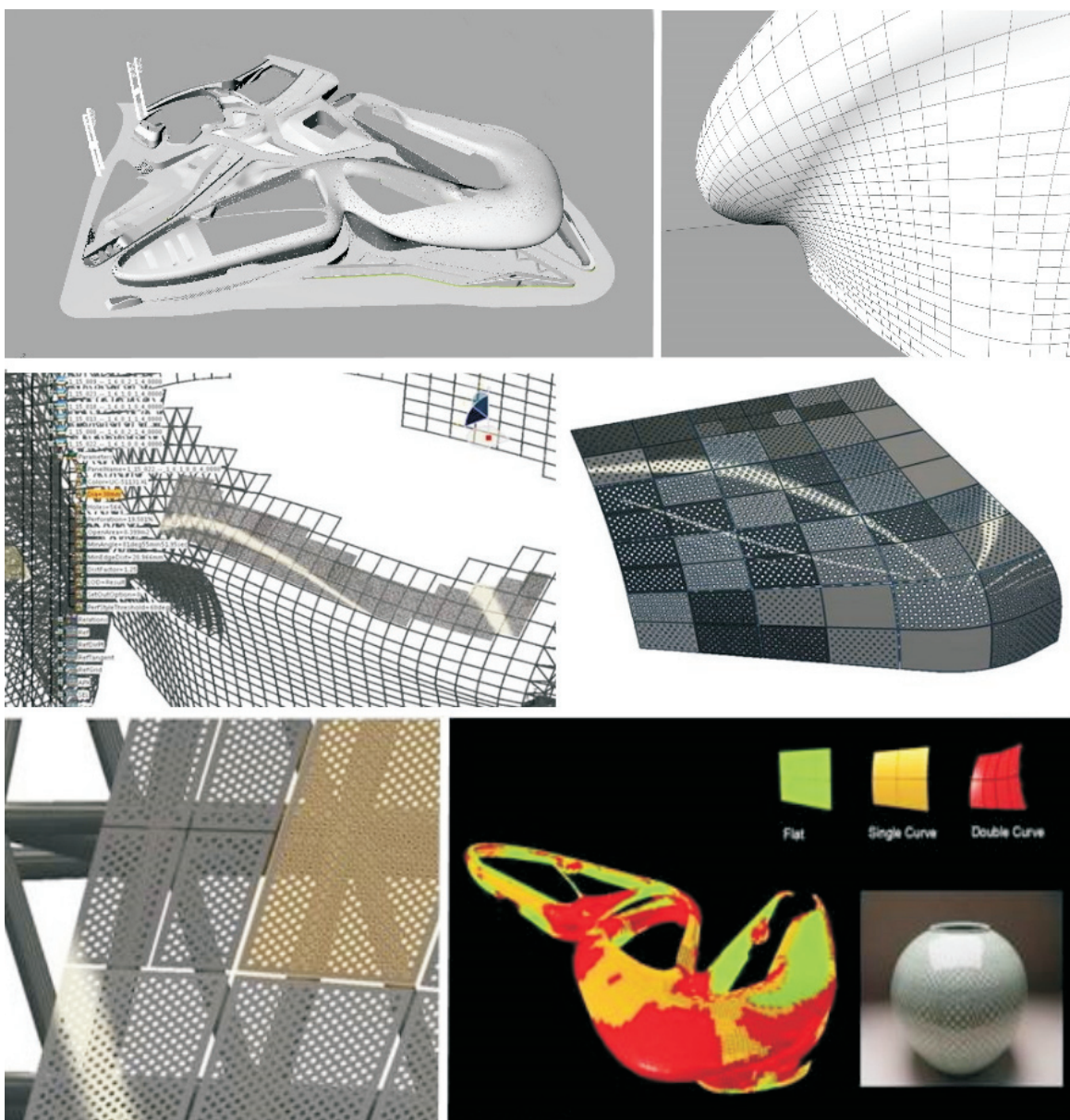
Oddany do użytku w 2014 roku Dongdaemun Design Plaza (DDP) w Seulu (Korea Południowa), projektu Zaha Hadid Architects (ZHA) [Ryc. 5], był pierwszym projektem w Korei Południowej wykorzystującym technologię BIM. Pracowano wówczas na rozszerzonym poziomie BIM 4, oferowanym przez oprogramowanie Digital Project GT. Koreański DDP jest największym na świecie budynkiem o formie swobodnej, jego powierzchnia użytkowa wynosi 86 574 m². Można w nim organizować międzynarodowe konferencje, festiwale, prezentacje nowych produktów, pokazy mody i różne inne wydarzenia, służy również jako miejsce spotkań biznesowych, zakupów i wypoczynku. Skła-

da się z pięciu elementów przestrzennych: Sali Sztuki, Muzeum, Laboratorium Projektowego, Rynku Dizajnu oraz Parku Historyczno-Kulturowego Dongdaemun. Obiekt ma siedem kondygnacji, z czego cztery znajdują się poniżej poziomu terenu.

Obiekty architektoniczne o złożonej nieregularnej geometrii nie mogą być tworzone na podstawie technologii 2D i wymagają nowych technik projektowych i wytwórczych. Projekt koncepcyjny DDP wykonany został w programie Rhinoceros, który pozwala budować modele parametryczne 3D. Za pomocą zestawu narzędzi przekształcania oraz manipulowania punktami kontrolnymi w Rhinoceros określono amorficzne modele parametryczne. Cyfrowe narzędzia projektowania oparte na B-spline i NURBS ułatwiają bowiem przekształcanie przestrzenne formy, nie wymagając jeszcze rozwiązań strukturalnych, co prowadzi często do odkrywania nowych relacji i zależności na wczesnym etapie krystalizowania się koncepcji.



Ryc. 5. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, Seul, Korea Południowa, 2007–2014 **a)** projekt koncepcyjny – wizualizacja, **b)** widok zrealizowanego obiektu; źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects /source: courtesy Zaha Hadid Architects



Ryc. 6. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, panelizacja parametrycznej powierzchni swobodnej przy użyciu aplikacji Evolute dla Rhinoceros; źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects/source: courtesy Zaha Hadid Architects

Cyfrowa powierzchnia parametryczna odgrywa kluczową rolę w modelowaniu parametrycznym form swobodnych. Daje podstawę do rozwiązań funkcjonalnych i inżynierskich budowli. Stąd ważne są jej ciągłość i gładkość geometryczna potrzebne do realizacji w przestrzeni rzeczywistej. Decyzje odnośnie do tego, jaka będzie struktura nośna tej powierzchni i co będzie jej substratem, zapadają zazwyczaj na etapie ustalania rozwiązań geometrycznych. W zależności od przyjętych rozwiązań strukturalnych i materiałowych oraz możliwości fabrykacji dokonuje się korekt geometrii modelu parametrycznego powierzchni obiektu. Wykonuje się to ze względu na przenoszenie obciążeń, optymalne zużycie materiału, możliwości wytwórcze środków produkcji. Są to tzw. działania optymalizacyjne. Jest wiele metod optymalizowania geometrii powierzchni.

W przypadku DDP na przygotowanej parametrycznej powierzchni ciągłej dokonano optymalizacji jej geometrii – skorzystano z aplikacji Evolute i wsparcia konsultantów z firmy Evolute GmbH. Aplikacja ta pozwala dzielić parametryczne powierzchnie ciągłe na panele elewacyjne bez utraty jakości geometrycznej powierzchni projektowanej. Opierając się na zasadach algorytmicznej panelizacji w połączeniu z dyskretną optymalizacją globalnej ciągłości zapisu geometrycznego powierzchni, aplikacja ta dąży do uzyskania jak największej ilości płaskich i pojedynczo zakrzywionych paneli.

Zazwyczaj przy podziale krzywoliniowej powierzchni swobodnej uzyskuje się mniej niż 50% niestandardowych dwukrzywiznowych elementów, co przyczynia się do uproszczenia produkcji i znacznego obniżenia jej kosztów [M. Eigensatz, M. Kilian, A. Schiftner, N.J. Mitra, H. Pottmann, M. Pauly 2010, s. 7] (ryc. 6). Dzielenie na panele powierzchnię swobodną DDP za pomocą aplikacji Evolute, otrzymano 45 133 paneli zewnętrznych o zróżnicowanej wielkości (których przeciętny rozmiar wynosił 1,6 m × 1,2 m): 13 851 paneli płaskich, 9544 paneli jednokrzywiznowych o łącznej powierzchni 9492 m² oraz 21 738 paneli dwukrzywiznowych o łącznej powierzchni 16 281 m².

Wzór powierzchni architektonicznej odwołuje się wprost do koreańskich motywów widocznych w tradycyjnych ceramice i sztuce ogrodowej. Ponadto niektóre z metalowych paneli wymagały fakturowania, a inne perforacji w celu doprowadzenia światła dziennego do wnętrza budowli. Wymagało to szczególnej precyzji na każdym z etapów – od projektu i produkcji do montażu. Aby temu sprostać, opracowano formy do gięcia blach o łatwej zmianie ich geometrii. Sterowane numerycznie (CNC) urządzenia mogły podążać za zadanymi parametrami geometrycznymi każdego elementu. Formy te należą do zaawansowanego tech-

nologicznego systemu dla budownictwa, pozwalającego na personalizację produktu (*mass-customization*) [P. Schumacher 2014, s. 51].

Tesselacja elewacji wykonana w Evolute jest zgodna z regułą przekształcania płynnych powierzchni o zróżnicowanych stopniach krzywizny na niewielkie czworokątne panele o różnych krzywiznach. Celem tego podziału jest skalibrowanie wstępnej formy z systemem konstrukcyjnym, w którym określa się wielkość paneli w relacji do geometrii, właściwości materiału, jak i ograniczeń wynikających z metod fabrykacji oraz montażu. Aby uzyskać pożądaną ciągłość geometryczną w miejscach wysokiego rozkładu zakrzywienia, konieczne było zastosowanie mniejszych paneli ze względu na ograniczenia produkcyjne. Istotny był proces optymalizacji w nowatorskiej sześciowymiarowej przestrzeni metrycznej, gdzie można było kontrolować położenie tysięcy paneli w złożonym układzie, ze szczeliną pomiędzy nimi oraz odchyleniami od powierzchni projektowej. Proces modelowania parametrycznego powierzchni obiektu powiązano bezpośrednio z analizami CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*) zawartymi w oprogramowaniu Digital Project GT (ryc. 7). Wyniki tych analiz pozwoliły na optymalizację kształtu formy ze względu na obciążenia wiatrem (ryc. 7a). Wykonano także testy w tunelu aerodynamicznym na modelu w skali 1 : 64. Przed fabrykacją paneli testowano również segment prototypowy, badając zachowania paneli przy obciążeniu wiatrem (ryc. 7b).

Pliki z danymi cyfrowymi zostały następnie wyeksportowane do Tekla Structures, gdzie sporządzono ostateczny model do produkcji elementów okładzinowych i strukturalnych. Po negocjacjach z chińskim zespołem badawczym nad transferem technologii budowy nowoczesnej maszyny do wytwarzania okładzin aluminiowych rozpoczęto ich produkcję z użyciem reprogramowalnej formy negatywowej o podwójnej i pojedynczej krzywiznie, na której odciskano panele (ryc. 8). Efektem ubocznym zbudowania takiej maszyny było opracowanie i zgłoszenie sześciu patentów na informacje technologiczne związane z produkcją paneli.

Opracowano również metodę wtórnego cięcia paneli wieloosiową wycinarką laserową. Cały proces produkcji paneli zajął rok i osiem miesięcy, co – jak twierdzą przedstawiciele firmy Samsung C&T – przy użyciu tradycyjnych maszyn i narzędzi zajęłoby około 20 lat.

Modelowanie parametryczne struktury nośnej powierzchni wykonane zostało za pomocą oprogramowania Digital Project Gehry Technologies (ryc. 7). Program ten powstał w 2004 roku i przeznaczony jest do projektowania obiektów krzywoliniowych o złożonej geometrii. Oparty został na CATIA V5 – oprogramowa-

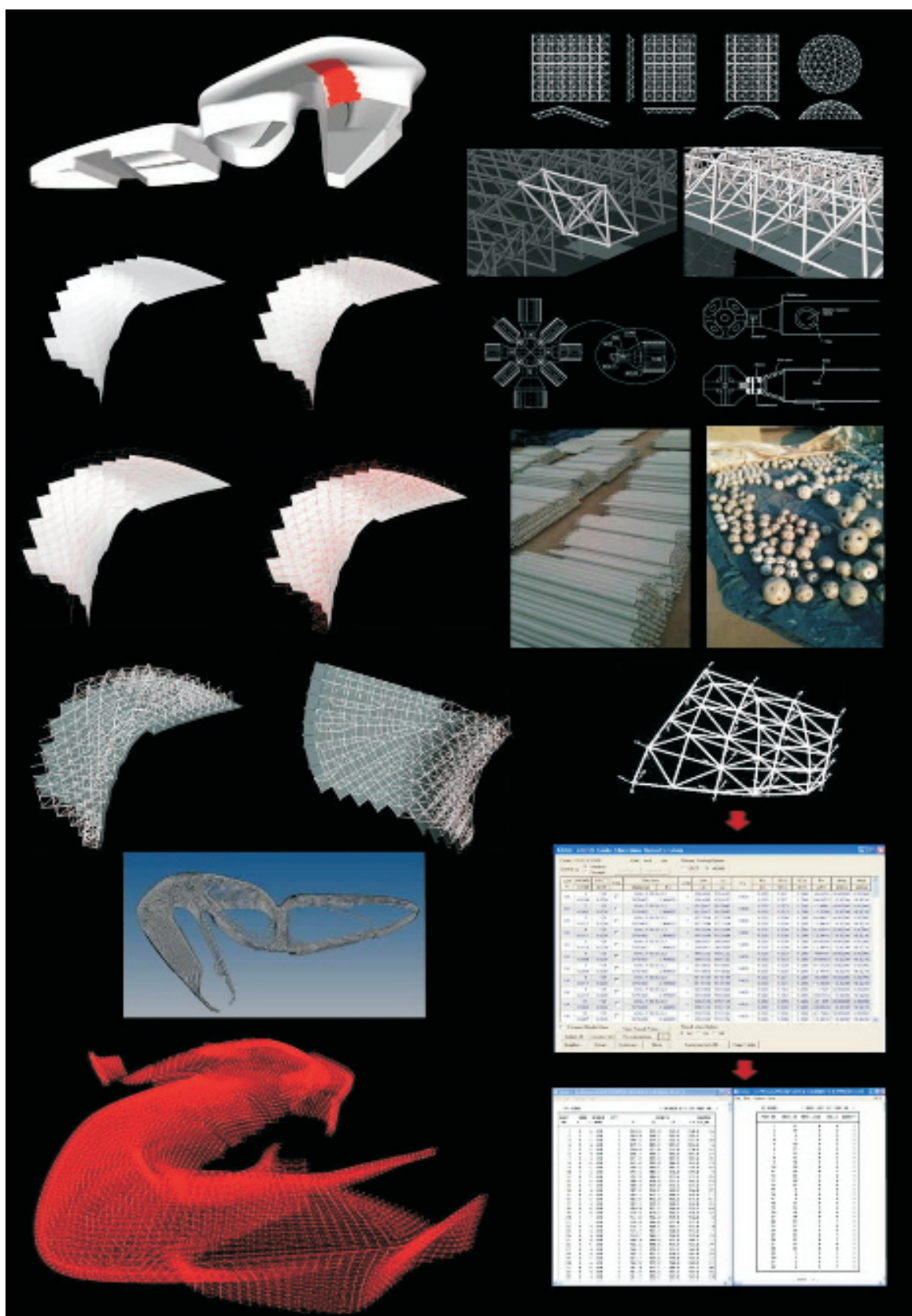




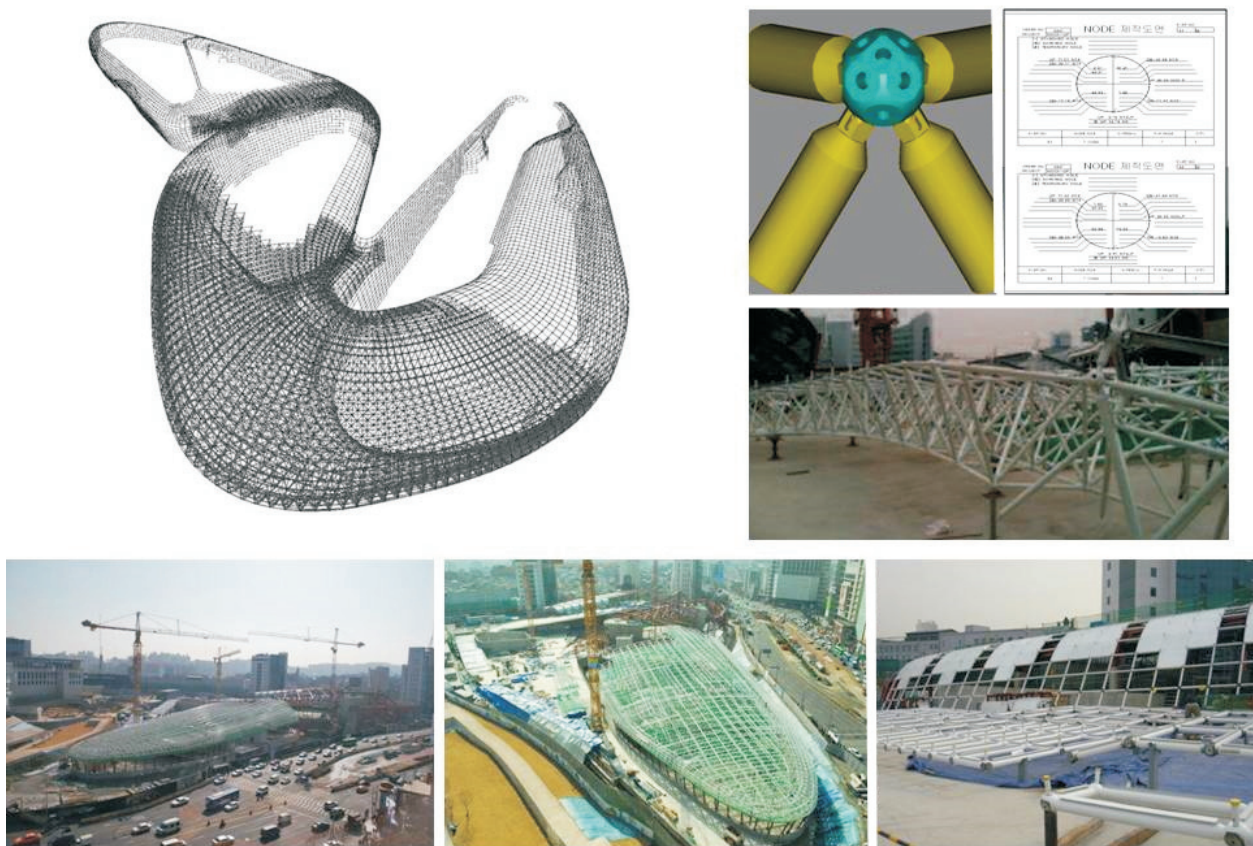
Ryc. 8. Reprogramowalna forma negatywowa o podwójnej i pojedynczej krzywiznie, na której odciskano panele dla DDP; źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects/source: courtesy Zaha Hadid Architects

niu, które zrewolucjonizowało przemysł motoryzacyjny w ubiegłym wieku. Digital Project pozwala na modelowanie obiektów w BIM i CAD dzięki modelerowi 3D, który umożliwia zaawansowane modelowanie struktur niezależnie od ich złożoności geometrycznej. Wykonanie w Rhinoceros podziału na panele zewnętrzne nieco skorygowało kształt przyjętej powierzchni obiektu. Tak zoptymalizowana powierzchnia parametryczna DDP została wyeksportowana do modelera Digital Project GT w celu zaprojektowania jej struktury nośnej. Sięgnięto po rozwiązania prętowe, które zostały wypracowane i sprawdzone przez Buckminstera Fullera (1895–1983) w drugiej połowie minionego stulecia. Topologiczna geometria Fullera oparta na czworościanie rewolucjoni-

zowała wówczas myślenie inżynierskie. Dowiódł on, że każda struktura powinna być rozumiana jako przejaw właściwych jej procesów tworzących sieć relacji, które są z natury dynamiczne. Zaprojektowany przez Fullera tzw. *octet truss* jest jednorodną strukturą, silniejszą od innego układu prętowego [A.L. Loeb 1976]. *Octet truss* okazał się niezwykle przydatny w strukturalnym ukształtowaniu krzywoliniowej powierzchni swobodnej DDP, stanowiącej integralny element obiektu. Pręty stalowe połączone zostały w węzłach kulowych, w których wcześniej nawiercono otwory montażowe, zgodnie z cyfrową specyfikacją. Z kolei aluminiowe panele zainstalowano poprzez łącza śrubowe w dystansach co 25 mm do stalowej konstrukcji wsporczej, której



Ryc. 9. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, parametryczne modelowanie obiektowe prętowej struktury nośnej powierzchni obiektu i obliczenia statyczne, specyfikacja elementów (Digital Project GT); źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects/source: courtesy Zaha Hadid Architects

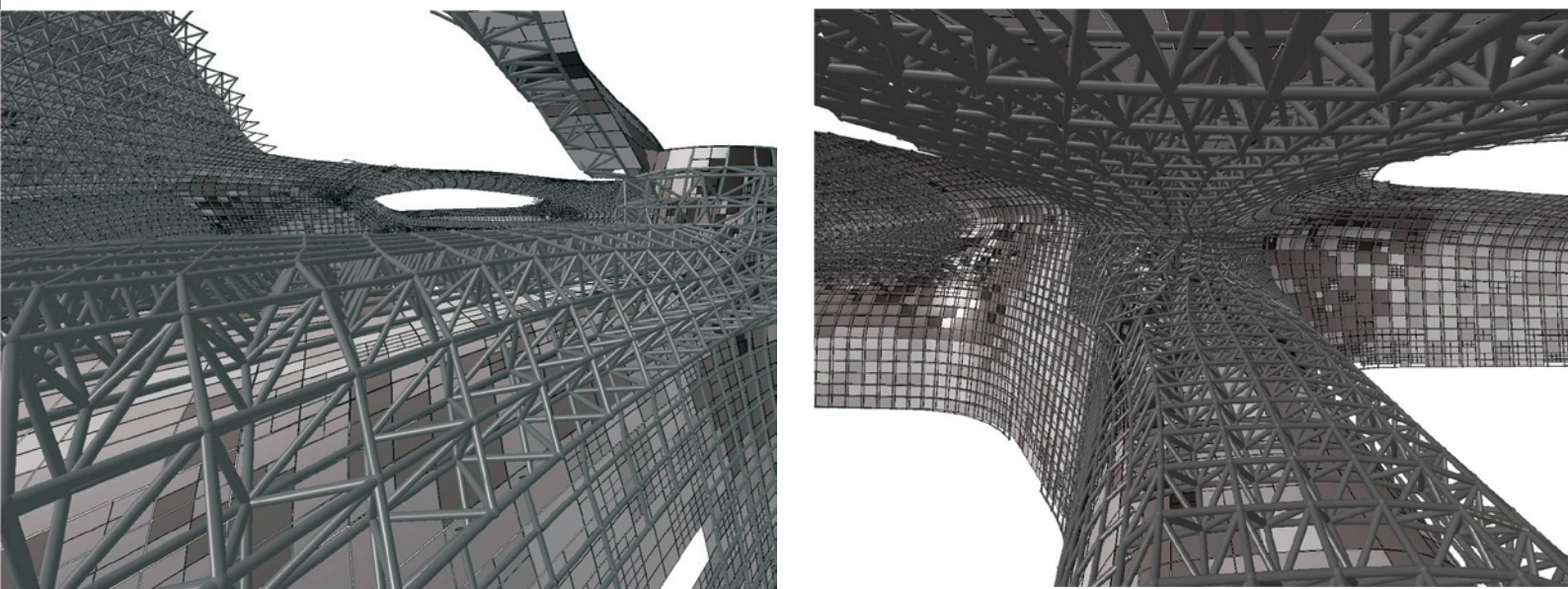


Ryc. 10. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, model parametryczny struktury nośnej powierzchni obiektu i przygotowanie do fabrykacji prętów i węzłów (Digital Project GT); źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects/source: courtesy Zaha Hadid Architects

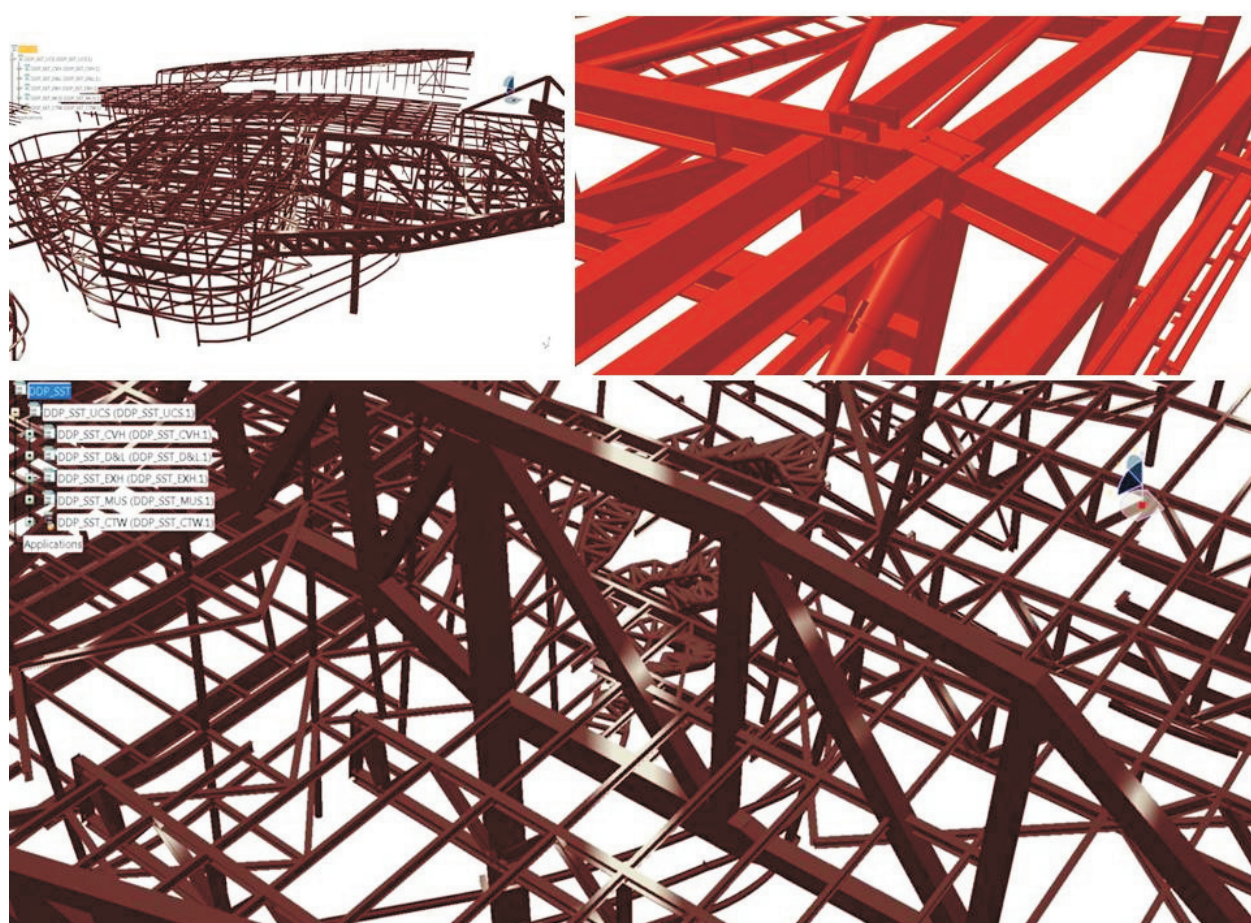
pręty miały 30 mm średnicy. Pod okładziną aluminiową znajdują się 16-centymetrowa warstwa izolacji termicznej, chroniona na wewnętrznym i zewnętrznym odcinku poprzez powłokę zapobiegającą przenikaniu wody, oraz 11-centymetrowa warstwa akustyczna pochłaniająca dźwięk. Niezawodność ścian żelbetowych była zweryfikowana poprzez testy wykonane na prototypach w tunelach aerodynamicznych.

Dongdaemun Design Plaza jest budowlą, w której zastosowano kilka systemów konstrukcyjnych współpracujących ze sobą nawzajem. Wymagało to skoordynowania działań oraz szybkiej i bieżącej wymiany danych projektowych, co bez technologii BIM byłoby niemal niemożliwe. Samonośne przekrycie strukturalne, (ryc. 9, 10) wsparte zostało na stalowych dźwigarach kratowych (ryc. 12). Z nimi także skorelowano systemy wykończenia wnętrz oraz instalacje oświetlenia i klimatyzacji. Stropy, schody i pomosty zaprojektowano jako niezależne autonomiczne ustroje żelbetowe (ryc. 13). Projekt wykonawczy podzielono na 10 sektorów i 221 podstref, dla których opracowano wszystkie detale konstrukcyjne i montażowe.

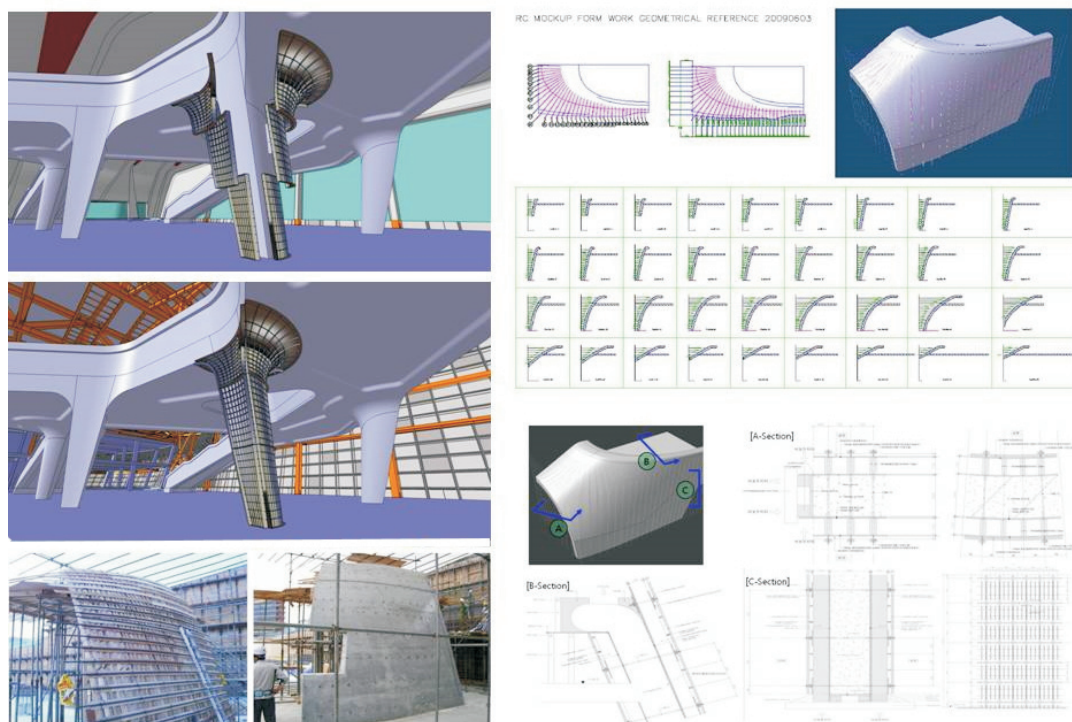
W pełni wykorzystano potencjał narzędzi modelowania parametrycznego zawartych w programie Digital Project GT, który „wyróżnia się modelerem obiektem opartym na historii, podczas gdy inne oprogramowania do modelowania parametrycznego CAD sklasyfikowane są jako bezpośrednie modelery. Wszystkie modele uzyskały wzajemne odniesienia w otwartej i nieograniczonej sieci modeli i podmodeli, do których dostęp mieli nie tylko projektanci Zaha Hadid Architects, lecz także lokalni architekci z Samoo Architects & Engineers, inżynierowie z Ove Arup & Partners i wielu innych przedstawicieli branż projektowych oraz konsultantów, jak też wykonawca Samsung C&T. W modelerze opartym na historii graficzny interfejs użytkownika (GUI) zawiera drzewo danych zapisujące każdy krok procesu modelowania w kolejności chronologicznej poprzez wykaz wszystkich wykonanych poleceń i powiązanych relacji modelu” [D.K. Andersen 2015, s. 10]. Dzięki temu zespół projektowy miał pełną kontrolę nad projektem, który mógł być stale testowany i dostosowywany do wymagań klienta i różnych branż projektowych w efektywnym przepływie pracy.



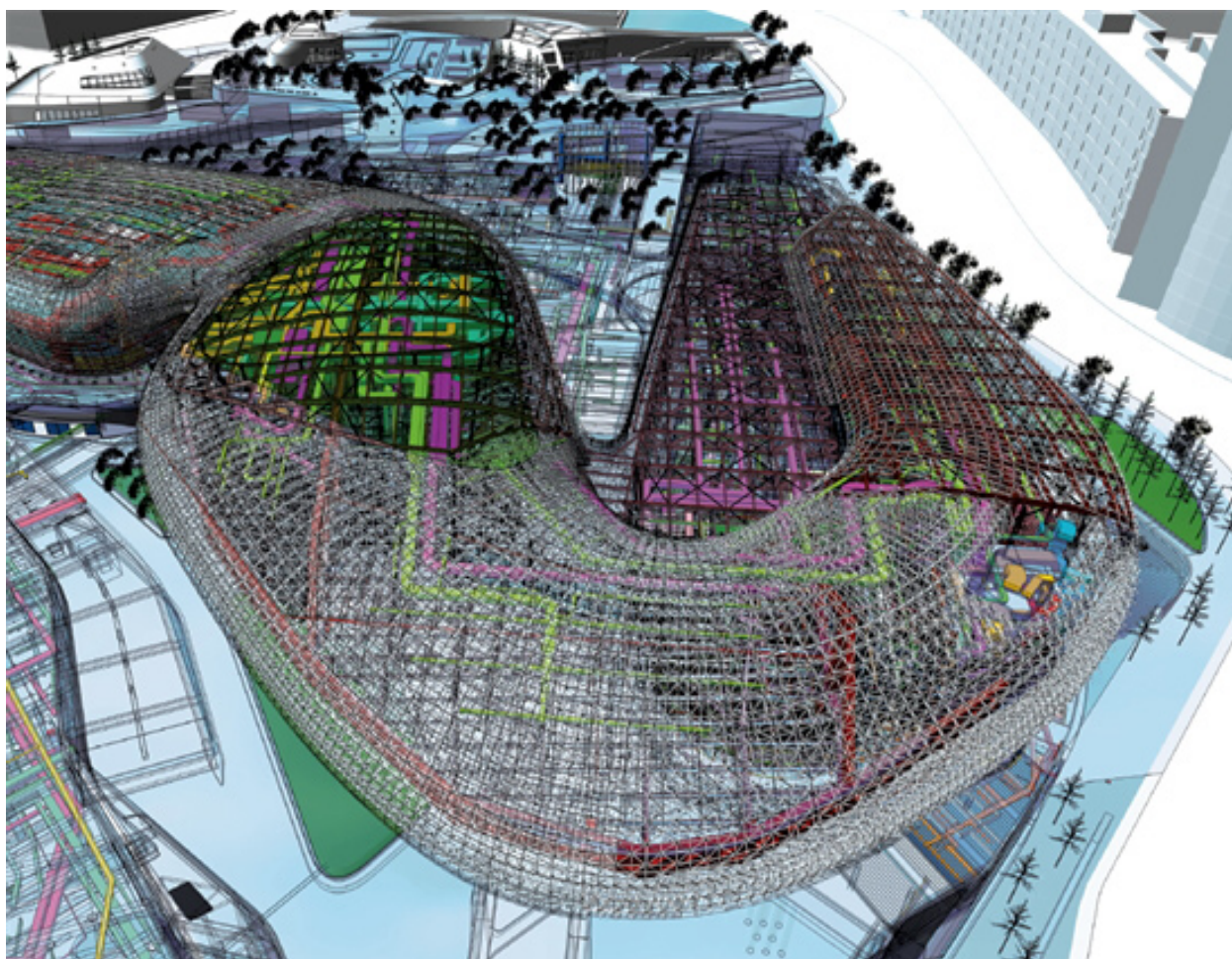
Ryc. 11 a-b. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, parametryczny model obiektowy (BIM) struktury prętowej powierzchni z panelami zewnętrznymi (Digital Project GT); źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects/source: courtesy Zaha Hadid Architects



Ryc. 12. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, parametryczne modele BIM stalowej konstrukcji nośnej (Digital Project GT); źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects/source: courtesy Zaha Hadid Architects



Ryc. 13. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, parametryczne modelowanie BIM struktury i elementów żelbetowych (Digital Project GT); źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects/source: courtesy Zaha Hadid Architects



Ryc. 14. Zaha Hadid Architects, Dongdaemun Design Plaza, kompleksowy model BIM (Gehry Technologies); źródło: dzięki uprzejmości Zaha Hadid Architects/source: courtesy Zaha Hadid Architects

3.2. King Abdulaziz Centre for World Culture w Dhahranie

Oddane do użytku w 2017 roku King Abdulaziz Centre for World Culture ITHRA (Centrum Kultury Światowej Króla Abdulaziza) w Dhahranie, projektu biura Snøhetta z Norwegii, to jeden z prestiżowych obiektów w Arabii Saudyjskiej. Służy głównie do organizowania imprez i wydarzeń kulturalnych. Centrum to zostało zainicjowane w 2006 roku przez koncern paliwowo-chemiczny Saudi Aramco, który aktyw-

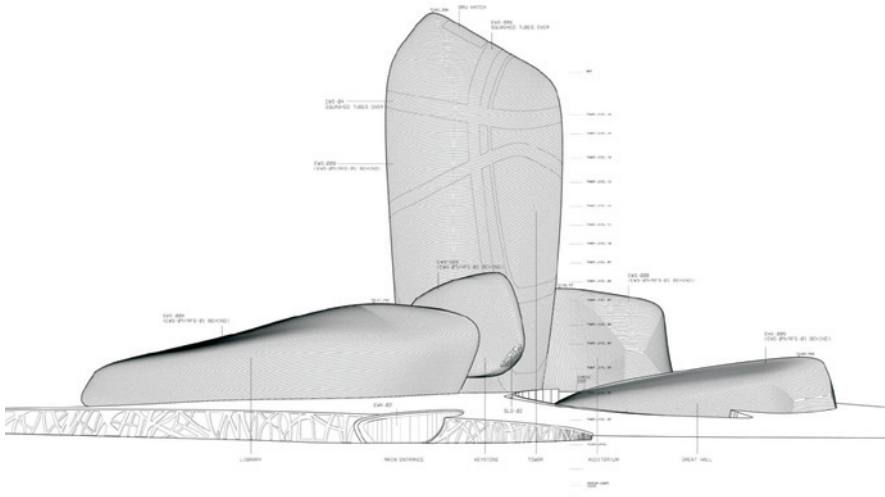
nie promuje kulturę w Królestwie Arabii Saudyjskiej. Obiekt ten, w pięciu niezależnych bryłach, oferuje 100 000 m² powierzchni użytkowej na różnego rodzaju wydarzenia kulturalne. Są tu także ekspozycje stałe, muzea, archiwa, kino, sale koncertowe, restauracje, kluby etc. Zlokalizowany na skraju pól naftowych i kamienistej pustyni budynek miał nawiązywać do naturalnych form charakterystycznych dla tego obszaru i stanowić jednocześnie rodzaj oazy dla kultury światowej.



Ryc. 15 a-b. Snøhetta, King Abdulaziz Centre for World Culture, Dhahran, Arabia Saudyjska, 2006–2017, **a)** wizualizacja obiektu wraz z zagospodarowaniem otoczenia, **b)** widok zrealizowanego obiektu od strony wjazdu na górny poziom; źródło: dzięki uprzejmości Snøhetta/source: courtesy Snøhetta



Ryc. 16a. Snøhetta, King Abdulaziz Centre for World Culture, modelowanie parametryczne jednopowłokowych brył obrotowych (Rhinos); źródło: opr. Karol G. Kowalski



Ryc. 16b. Snøhetta, King Abdulaziz Centre for World Culture, finalny model powierzchniowy w skali i z wymiarowaniem (Rhinos); źródło: dzięki uprzejmości Snøhetta/source: courtesy Snøhetta



Ryc. 16c. Snøhetta, King Abdulaziz Centre for World Culture, sytuacja w skali (Rhinos); źródło: dzięki uprzejmości Snøhetta/source: courtesy Snøhetta

Architektura Centrum Kultury Światowej Abdula-
ziza to metafora kamieni zebranych na pustyni i ułożo-
nych tak, aby powstała z nich oryginalna kompozycja,
która ma jednocześnie manifestować nową erę w pro-
jektowaniu i wznoszeniu budowli (ryc. 15). Realizacja
objektu wymagała szybkiego przepływu danych pro-
jektowych pomiędzy architektami, konstruktorami, pro-

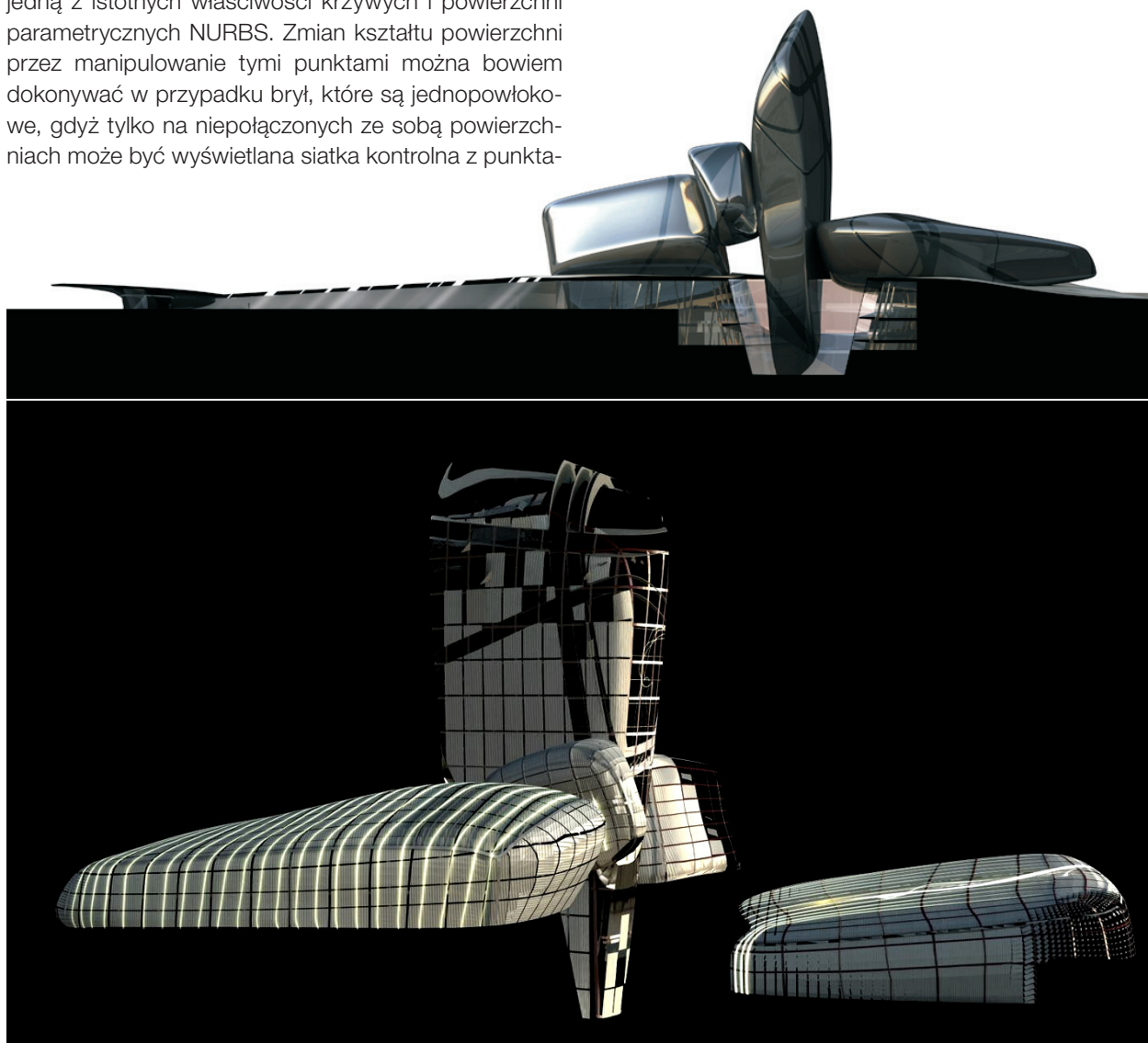
jektantami elewacji i firmami zajmującymi się fabrykacją
elementów budowlanych oraz ich montażem na placu
budowy. Skorzystano wówczas z poziomu BIM 4 w wer-
sji oferowanej przez firmę Revit Autodesk, która nie jest
przeznaczona do pracy na formach swobodnych, tak
jak Digital Project GT. Do opracowania projektu wyko-
rzystano zatem narzędzia cyfrowe CAD/CAE/CAM za-
warte w programach Rhinoceros 3D, Grasshopper, Py-
thon (który jest językiem skryptowym stosowanym m.in.
w Rhinoceros 3D/Grasshopper) oraz CATIA. Użyto tak-
że programu Tekla Structures, który w środowisku BIM
jest zdolny do modelowania trójwymiarowych elemen-
tów strukturalnych oraz wspomagania produkcji i monta-
żu. Program ten dobrze współpracuje z programem
Revit Autodesk. Dlatego też zaangażowane do wykona-
nia projektu realizacyjnego Buro Happold Engineering
zleciło firmie Revit opracowanie aplikacji usprawniającej
automatyczne tworzenie modeli cyfrowych w integracji
z narzędziami zarządzania danymi BIM (tak jak w opro-
gramowaniu Digital Project GT). Usprawniono zatem
procesy związane z projektowaniem narzędziami Tekla
Structures oraz koordynacją produkcji, a poszczególne
pliki mogły być bezproblemowo eksportowane i odczy-
tywane przy zastosowaniu formatów DWG/DXF. Aplikacja
ta była również wykorzystywana w złożonych procesach
oceny niezawodności konstrukcji, usprawnieniu

zliczania i rozmieszczenia elementów konstrukcyjnych oraz odporności struktury na siłę wiatru.

Modelowanie parametryczne Centrum Kultury Światowej Króla Abdulaziza odbywało się w kilku etapach. Firmy Inoclad GmbH oraz Imagine Computation GmbH użyły kombinacji ręcznego modelowania w Rhinoceros 3D, definicji tworzonych w nakładce Grasshopper i języka skryptowego Python. Za rozwiązania strukturalne powłoki budynku odpowiedzialny był architekt Mohamed Naeim A. Ibrahim, ekspert w dziedzinie modelowania parametrycznego i generatywnego z MNA Design Technologies.

W pierwszym etapie powstał model w programie Rhinoceros 3D/Grasshopper opartym na krzywych i powierzchniach NURBS. Manipulując punktami kontrolnymi podstawowych brył geometrycznych (sfera i elipsoida), modelowano wcześniej przyjętą ideę formy złożonej z pięciu „kamieni” – segmentów budowli o zróżnicowanej funkcji (ryc. 16a). Punkty kontrolne są jedną z istotnych właściwości krzywych i powierzchni parametrycznych NURBS. Zmian kształtu powierzchni przez manipulowanie tymi punktami można bowiem dokonywać w przypadku brył, które są jednopowłokowe, gdyż tylko na niepołączonych ze sobą powierzchniach może być wyświetlana siatka kontrolna z punkta-

mi w celu ich edycji. Warunek ten doskonale spełniają takie bryły, jak np. sfera, torus czy elipsoida. Przy modelowaniu parametrycznym brył obiektu (ITHRA) zastosowano następujące narzędzia: przebudowywanie liczby punktów kontrolnych (co wiąże się ze zwiększeniem ilości izoparm przebiegających w kierunku U i V), narzędzie usuwania i dodawania punktów kontrolnych oraz „edycji wagi punktu kontrolnego”. Podstawowe przekształcenia i operacje na punktach kontrolnych nie przyczyniły się do zmiany ciągłości krzywizny form geometrycznych obiektu, ale za to dzięki tym działaniom uzyskano charakterystyczne zaokrąglenia (o zmiennym promieniu), które zaczęły przypominać wyoblone krawędzie znajdujące się na każdej z pięciu wymodelowanych form. Kolejnym krokiem było interpolowanie krzywych (zamkniętych) na powierzchniach swobodnych, dzięki którym wykonano charakterystyczne pasma przeszkleń, szczególnie widoczne na dominującej 98-metrowej wieży (ryc. 16b).



Ryc. 17 a-b. Snøhetta, King Abdulaziz Centre for World Culture, geometryzacja powierzchni swobodnych przez podział na elementy do fabrykacji; źródło: dzięki uprzejmości Snøhetta/source: courtesy Snøhetta

W drugim etapie, po analizach krzywizny i testach CFD, dokonano korekt geometrii brył i rozwiązano przyjęty program użytkowy obiektu, co spowodowało pewne zmiany kształtu brył. Po uwzględnieniu tych korekt i wymiarowania można już było wygenerować w skali finalny powierzchniowy model parametryczny 3D całości ITHRA (ryc. 17b-c) i opracować otoczenie obiektu (ryc. 14a).

Etap trzeci obejmował opracowanie strategii dotyczącej sposobu nadania struktury powierzchni każdej z pięciu form swobodnych (składowych obiektu), jak też określenie, co będzie ich konstrukcją nośną, a co substratem. Na tym etapie projektu realizacyjnego na podejmowanie decyzji wpływają możliwości fabrykacji CNC, jakimi dysponuje wykonawca projektu, oraz koszty. Przyjmowane są różne strategie geometryzowania powierzchni form swobodnych do wytwarzania. Dwuwymiarowa fabrykacja często obejmuje konturowanie triangulacyjne lub tessellacje poligonalne. Stosuje się także powierzchnie o podziałach równoległych, rozwijalne albo rozkładalne. Architektom, wytwórcom i wykonawcom chodzi o to, żeby z powierzchni złożonej geometrycznie wyprowadzić jak największą liczbę dwuwymiarowych płaskich komponentów. W przypadku form swobodnych ITHRA wybrano dwie strategie. Pierwsza z nich dotyczyła podziału powierzchni na panele zewnętrzne, a druga konstrukcji nośnej. Najpierw podzielono powierzchnie brył na czworokątne segmenty (panelizacja) odpowiedniej wielkości (podział ten wyznaczał także strukturę mocującą), a następnie wykonano konturowanie powierzchni (tam, gdzie to było możliwe), aby wyznaczyć geometrycznie konstrukcję nośną (ryc. 17b). Konturowanie jest konceptualnie takim samym procesem jak *lofting* w budowie okrętów, podczas którego określany jest kształt kadłuba przez sekwencje płaskobocznych przekrojów poprzecznych. Konturowanie sekwencji sekcji planarnych, często do siebie równoległych i rozmieszczonych w równych odstępach, jest wykonywane automatycznie na parametrycznym modelu geometrycznym przez narzędzia modelujące. Dane te służą do bezpośredniej artykulacji komponentów strukturalnych budowli. Tak wyprowadzone linie przekrojowe kreują rodzaj siatki konturowej, którą można dalej manipulować w przestrzeni cyfrowej, żeby stworzyć abstrakcyjny szkielet strukturalny powierzchni lub budowli. Może on być poddawany analizom konstrukcyjnym wykonywanym przez narzędzia cyfrowe, aby precyzyjnie określić wszystkie elementy tej struktury [K. Januszkiewicz 2010, s. 72]. W wyniku przeprowadzonych operacji geometrycznych otrzymano ponad 3000 modułów, a każdy z nich zawierał po kilkaset różnych

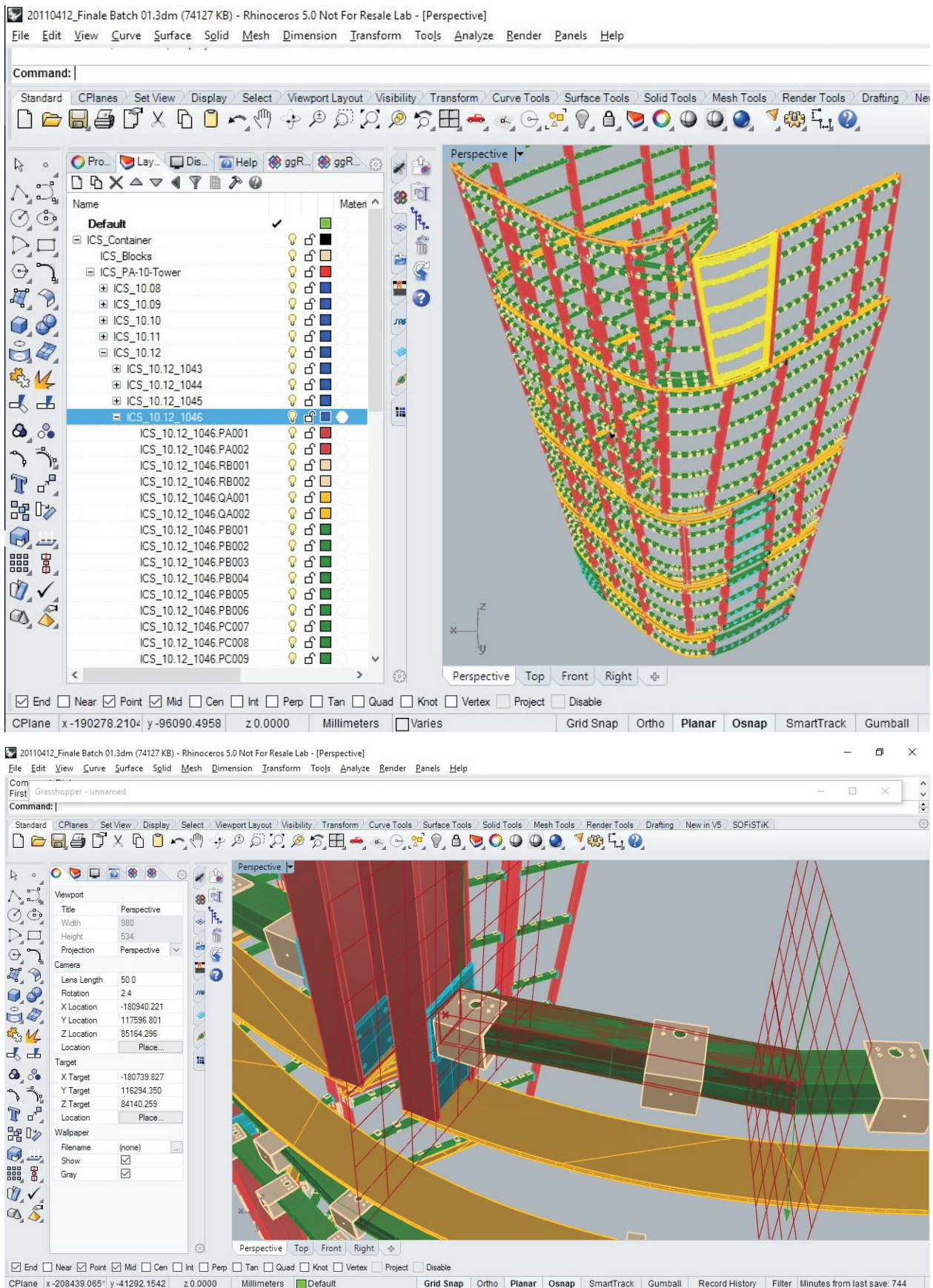
elementów z dokładnym wskazaniem ich umiejscowienia w obiekcie (ryc. 16b). Każdemu z tych elementów przypisano metadane, tworząc gotowe pliki IFC, najpierw w celach projektowych, które następnie zaimportowano do Tekla Structures, by przygotować elementy do fabrykacji, np. konstrukcji stalowej (ryc. 18). Pliki IFC to otwarty opis danych BIM. Ich stworzenie było koniecznością, najlepszym rozwiązaniem dla sprawnej współpracy z wytwórczą Inoclad Engineering GmbH.

Dla pracujących w oprogramowaniu Tekla Structures wyzwaniem była praca na modelach, które *de facto* już zostały ukończone i zamknięte, a w których trzeba było dokonać zmian w wymiarach i geometrii poszczególnych elementów budowli. Takich problemów nie dostarcza Digital Project GT. Pożądanym sposobem pracy nad projektem byłaby automatyczna wymiana danych i przekształcanie modelu z Rhinoceros 3D w model, nad którym można by było pracować w Tekla Structures. Taka wymiana danych jest możliwa, gdy do komponentu Geometry Gym w Grasshopper zaimplementuje się technikę inżynierii odwrotnej. Wtedy praca nad elementami składowymi obiektu polega na szukaniu krawędzi ich powierzchni (zaczynając od najdłuższych) i określaniu, czy przypisane przekroje poprzeczne obiektów dopasowane są do wymiarów danych profili. Aplikacja Geometry Gym została opracowana dla Grasshoppera, aby umożliwić generowanie elementów do Tekla z niezbędnymi cechami i relacjami występującymi w obiektach z Rhinoceros 3D. Było to spore ułatwienie dla firmy Inoclad Engineering GmbH, która później wykorzystywała możliwość przetwarzania obiektów w procesie tworzenia definicji w Grasshopper za pomocą komponentów Geometry Gym (ryc. 19a-b). Dzięki temu uzyskano również bazę danych, w której użytkownik może przeprowadzać operacje wymiany obiektów generowanych w modelu z Tekla za pomocą metod dostępnych w Tekla API. Dla drugiego wykonawcy (firma SPT) zdecydowano się na podobny krok. Zamiast plików Rhino (.3dm) wykonano pliki (.ifc) odczytywane w openBIM [J. Mirtschin 2016, s. 1–18].

Należy podkreślić, że na każdym etapie projektu modele parametryczne były nieustannie testowane zarówno w oprogramowaniu opracowanym przez Revit, jak i Tekla Structures, a konstruktorzy i architekci mieli możliwość powrotu do ich pierwotnych wersji, co było korzystne ze względu na konieczność uniknięcia błędów skutkujących katastrofą budowlaną w przypadku nieodwracalności dokonanych zmian w projekcie przy kolejnych jego zapisach i edycjach.



Ryc. 18 a i b. Snøhetta, King Abdulaziz Centre for World Culture, montaż na placu budowy; źródło: dzięki uprzejmości Snøhetta/source: courtesy Snøhetta



Ryc. 19 a-b. Snøhetta, King Abdulaziz Centre for World Culture, modelowanie komponentów fasady za pomocą aplikacji Geometry Gym; źródło: dzięki uprzejmości Snøhetta/source: courtesy Snøhetta

4. ROLA MODELOWANIA PARAMETRYCZNEGO W TECHNOLOGII BIM

Aby określić rolę modelowania parametrycznego w cyfrowym opracowaniu zintegrowanej dokumentacji projektu, należy przypomnieć, czym jest projektowanie i modelowanie parametryczne. Chodzi tu bowiem o proces pozwalający na wyrażanie parametrów i zasad, przez które są definiowane, kodowane i wyjaśniane relacje pomiędzy zamierzeniem a odpowiedzią projektową [M. Erlhoff, T. Marshall (red.) 2008, s. 128]. Modelowanie parametryczne zaś, odwołując się bezpośrednio do równań parametrycznych, jest graficznym opisem tych relacji w odniesieniu do problemu projektowego [E.W. Weisstein 2002, s. 2150]. Technologia BIM natomiast opisuje obiekty budowlane i ich relacje, które mogą być wykorzystane do wyrażania intencji projektowych, z kolei modelowanie parametryczne pozwala na tworzenie i zarządzanie tymi relacjami. Szczególną uwagę zwracają na to Karen Kensek i Douglas Noble (2014), określając nie tylko związki, lecz także wskazując różnice występujące między BIM a modelowaniem parametrycznym [K.M. Kensek, D.E. Noble 2014, s. 6061].

Większość aplikacji BIM bazuje na parametrycznym modelowaniu obiektowym mającym zdolność definiowania poszczególnych obiektów, których kształt i inne właściwości można kontrolować parametrycznie. Ma to również zastosowanie do zespołów obiektów, co pozwala na kontrolę zbiorów danych przez parametry [Ch. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston 2011, s. 589].

Parametryczne modelowanie obiektowe nie dotyczy jednak struktur o zmiennej geometrii a stałych właściwościach [Ch. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston 2011, s. 589].

W systemie BIM każdy obiekt może być tworzony lub edytowany poprzez jego parametry, reguły, dane zewnętrzne, które decydują o konstrukcji i cechach geometrycznych. Parametry i dane w wymiarowo sterowanej strukturze parametrycznej są otrzymywane za pośrednictwem baz danych lub są implementowane do graficznych interfejsów użytkownika (GUI). Podkreślić należy, że komunikacja pomiędzy bazami danych obejmującymi wszystkie aspekty projektu (od danych środowiskowych i wymagań programowych aż po materiały i kosztorysy) oraz pomiędzy wszystkimi osobami zaangażowanymi w proces projektowania (od architektów i inżynierów po inwestorów i budowniczych) jest umożliwiona w BIM przez zbiór protokołów [S. Vergopoulos, D. Gourdoukis 2012, s. 145]. Następnie dane wejściowe w postaci parametrów są przetwarzane za pomocą instrukcji, formuł matematycznych czy algorytmów obliczeniowych, których logika działania odpowiada za pośrednictwo twórczych zamierzeń projektanta z komputerem.

Podstawową rolą modelowania parametrycznego w BIM jest identyfikacja konfliktów przestrzennych, które są od siebie współzależne. Modelery parametryczne mogą uwzględniać takie kolizje w relacjach i automatycznie aktualizować układ, aby ich uniknąć. Inne modelery tego nie robią, gdyż nie zawierają wbudowanych w nie reguł [Ch. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston 2011, s. 45]. Parametryczne modelery budynków w BIM powinny zapewniać nieograniczone możliwości prezentacji projektu, efektywność i niezawodność procesu oraz lepsze skoordynowanie informacji o budynku, co sprawia, że takie rozwiązanie jest spójniejsze wewnętrznie niż oprogramowanie CAD dedykowane dla BIM. Dennis Sheldon (2009) zauważa, że modelowanie parametryczne w BIM pozwala na szczegółową logikę organizacji systemu komponentów, która może być zakodowana w generatywnych podejściach, tak aby ten poziom zrozumienia projektu mógł być stosowany jako część technik w formalnych technikach generatywnych [D. Sheldon 2009, s. 82].

Ponadto rolą modelowania parametrycznego w technologii BIM jest także usprawnienie procesu zarządzania na różnych poziomach projektu i budowy, co w szczególności (oprócz sprawdzania wspomnianych konfliktów przestrzennych) dotyczy takich możliwości, jak: generowanie wizualizacji w dowolnym momencie projektu, automatyzacja części i produkcji montażowej (CAM), sekwencyjność konstrukcji oraz przeprowadzanie badań i testów materiałowych [R. Garber 2009].

Zazwyczaj projektanci są zmuszeni modelować przez proces złożony z parametrów i reguł. Wtedy zwiększa się zarówno złożoność zadań projektanta, jak i kontaktu na linii człowiek–komputer, co oznacza większą świadomość podejmowanych decyzji i znaczne wyzwanie dla osób zarządzających procesem modelowania parametrycznego oraz procesem powstawania obiektu w BIM. Modelowanie parametryczne przekształca bowiem modelowanie z narzędzia do projektowania geometrii w narzędzie, w którym zawiera się wiedza projektanta. Ponadto użytkownik w procesie projektowania ma odpowiedni zakres kontroli nad tworzeniem i automatycznym aktualizowaniem obiektów, co wymaga technicznej i fachowej wiedzy [N.A. Megahed 2015, s. 174–183]. Jak zauważają Lee, Sacks i Eastman (2006), zdolność tej kontroli wynika z tego, że w modelowaniu parametrycznym w BIM są mechanizmy do tłumaczenia i wstawiania wiedzy specjalistycznej w domenę w postaci wyrażen geometrycznych, które mogą automatyzować generowane informacje o budynku (zwłaszcza geometryczne) oraz pozwalają na szybką i interaktywną zmianę projektu w czasie rzeczywistym [G. Lee, R. Sacks, Ch.M. Eastman 2006, s. 758–776].

PODSUMOWANIE

Przedstawione przykłady ukazują dwa różne podejścia do wykonywania projektu realizacyjnego z zastosowaniem technologii BIM. Złożona geometria DDP form swobodnych wymagała od zespołu pracy w środowisku BIM Digital Project GT w celu zidentyfikowania kolizji między poszczególnymi modelami koncepcyjnymi (Rhinoceros). Środowisko to także okazało się szczególnie skuteczne w ustaleniu relacji pomiędzy konstrukcją a systemami mechanicznymi, elektrycznymi i hydraulicznymi (MEP). Bez technologii BIM również nie udałooby się skoordynować złożonych mediów podziemnych dwóch pobliskich linii metra. Jednakże głównymi celami jej zastosowania w projekcie Dongdaemun były koordynacja przestrzenna i dostarczenie dokładnych danych produkcyjnych.

Budynek Abdul-Aziz Centre for World Culture jest przykładem tego, jak wybór komputerowych narzędzi projektowania zdeterminował sposób opracowania do realizacji projektu architektonicznego obiektu o formach swobodnych. W rezultacie oryginalny model parametryczny został przekształcony w zintegrowany model Tekla BIM, który posłużył do opracowania struktury obiektu. Projektanci, wykorzystując aplikację Grasshopper wraz z innymi niestandardowymi skryptami Pythona, musieli sami stworzyć nowe aplikacje, aby zautomatyzować koordynację, odniesienia i kodowanie (według numeru i koloru) dla każdej części fasady. Można było uniknąć tych problemów, pracując od początku z programem Digital Project GT. Realizacja projektu ITHRA uświadamia, jak ważna jest strategia sporządzenia projektu wykonawczego, wybór oprogramowania, które zapewnia sprawne nanoszenie zmian w obiektowych modelach parametrycznych BIM. Projektant bowiem opracowuje w przestrzeni wirtualnej model budowlany, który jest odzwierciedleniem różnorodnych danych o obiekcie zapisanych cyfrowo. Chociaż pomysł, aby dane o fizycznych i funkcjonalnych właściwościach budowli zamienić na operacyjny format cyfrowy nie jest taki nowy, to wciąż wymaga udoskonaleń wprowadzanych na podstawie doświadczeń projektantów i wykonawców.

LITERATURA

1. **Afsari K., Shelden D.R., Eastman Ch.M. (2016)**, *Data Transmission Opportunities for Collaborative Cloud-Based Building Information Modeling*, SIGraDi, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, Buenos Aires, s. 907–913.
2. **Aish R. (1986)**, *Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD*, CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering related to Building.
3. **Al-Saudi A. (2017)**, *BIM 5D Tools Redefine Construction*, <https://thebimhub.com/2014/09/16/bim-5d-tools-redefine-construction/#.WZoki1FJaiM> (dostęp 21.08.2017).
4. **Andersen D.K. (2015)**, *Parametric Modelling for Point Support Optimisation of Plate and Shell Structures*, Technical University of Denmark Department of Civil Engineering, Lyngby.
5. **Arthur W.B. (2009)**, *The Nature of Technology*, Free Press, New York.
6. **Bernstein P. (2012)**, *Intention to Artifact*, w: Scott Marble (red.), *Digital Workflows in Architecture: Design – Assembly – Industry*, Birkhäuser, Basel, s. 72–73.
7. **Bazjanac V. (2007)**, *Impact of the U.S. National Building Information Model Standard (NBIMS) on Building Energy Performance Simulation*, Building Simulation, IBPSA, Beijing, s. 1377–1382.
8. **Eastman Ch., Teicholz P., Sacks R., Liston K. (2011)**, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
9. **Eigensatz M., Kilian M., Schiffner A., Mitra N.J., Pottmann H., Pauly M. (2010)**, *Paneling Architectural Freeform Surfaces*, „SIGGRAPH, ACM Transactions on Graphics”, Vol. 29, No. 4, s. 1–10.
10. **Erlhoff M., Marshall T. (red.), (2008)**, *Design Dictionary: Perspectives on Design Terminology*, Birkhäuser, s. 128.
11. **Garber R. (2009)**, *Optimisation Stories: The Impact of Building Information Modelling on Contemporary Design Practice*, „Architectural Design”, Vol. 79, No. 2, s. 6–13.
12. **Institute of Electrical and Electronics Engineers (1990)**, *IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology*, New York, s. 42.
13. **Januszkiewicz K. (2010)**, *O projektowaniu architektury w dobie narzędzi cyfrowych. Stan aktualny i perspektywy rozwoju*, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław.
14. **Kensek K.M., Noble D.E. (2014)**, *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
15. **Khedr A.M.S., Hegazy M.A. (2018)**, *Digital design in contemporary architecture as a tool not as an aim. Towards A Design framework for an identity-conscious Arab architecture*, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIE) vol. 7, issue 7, July, s. 7–17.
16. **Kogut P., Tomana A. (2013)**, *Aplikacje 4D i 5D w środowisku BIM*, 20th International Conference on

Computer Methods in Mechanics, Short Papers, Institute of Structural Engineering, Poznań.

17. **Kopka W. (2016)**, *Zintegrowane modelowanie i analizy w BIM z wykorzystaniem Dynamo*, „Mechanik” nr 7, s. 434.
18. **Kornbau E. (2008)**, *The ABCs of the AEC Industry*, Zweig White Information Services, LLC, Fayetteville.
19. **Laiserin J. (2007)**, *To BIMfinity and Beyond!*, „Cada-lyst” vol. 24, no. 11, s. 46–48.
20. **Lee G., Sacks R., Eastman Ch.M. (2006)**, *Specifying Parametric Building Object Behavior (BOB) for a Building Information Modeling System*, „Automation in Construction”, No. 15, s. 758–776.
21. **Loeb A.L. (1976)**, *Space Structures*, Reading, MA, Addison-Wesley.
22. **Megahed N.A. (2015)**, *Digital Realm: Parametric-enabled Paradigm in Architectural Design Process*, „International Journal of Architecture, Engineering and Construction” vol. 4, no. 3, s. 174–183.
23. **Microsoft Corporation (2002)**, *Microsoft Computer Dictionary*, 5th ed., Prentice Hall India Learning Private Ltd, Washington, s. 33.
24. **Mirtschin J. (2016)**, *Iconic BIM: Realisation of a Form*, RTC Australasia 2016, Lovedale.
25. **Mordue S., Swaddle P., Philp D. (2016)**, *Building Information Modeling For Dummies*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
26. **Naeim M. (2015)**, *Computation as a tool for Architectural design development. A Case study of Building the ITHRA project*, In Design Computing, March.
27. **van Nederveen G.A., Tolman F.P. (1992)**, *Modelling multiple views on buildings*, „Automation in Construction” vol. 1, no. 3, s. 215–224.
28. **Ruffle S. (1986)**, *Architectural design exposed: from computer-aided drawing to computer-aided design*, „Environment and Planning B: Planning and Design” vol. 13, s. 385–389.
29. **Schumacher P. (2014)**, *Tectonic Articulation: Making Engineering Logics Speak*, „Architectural Design” vol. 84, no. 4, s. 44–51.
30. **Shelden D. (2009)**, *Information Modeling as a Paradigm Shift. Closing the Gap: Information Models in Contemporary Design Practice*, „Architectural Design” vol. 79, no. 2, s. 80–83.
31. **Tedeschi A. (2014)**, *AAD Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using grasshopper*, Le Penseur Publisher, Brienza.
32. **Ustinovičius L., Rasiulis R., Nazarko Ł., Vilutienė T., Reizgevičius M. (2015)**, *Innovative research projects in the field of Building Lifecycle Management*, „Procedia Engineering” vol. 122, s. 166–171.
33. **Vergopoulos S., Gourdoukis D. (2012)**, *Network Protocols / Architectural Protocols: Encoded Design Processes in the Age of Control*, International Conference, Rethinking the Human in Technology Driven Architecture, ENHSA-EAAE, No. 55, Thessaloniki, s. 135–148.
34. **Weisstein E.W. (2002)**, *CRC Concise Encyclopedia of Mathematics*, 2nd edition, Chapman & Hall/CRC, London–New York–Washington, s. 2150.